ISSN 2311-8342

Всемирная ассоциация выставочной индустрии
Российский союз выставок и ярмарок
Торгово-промышленная Палата РФ

КУЗБАССКАЯ ЯРМАРКА · KUZBASS FAIR

УГОЛЬ и МАЙНИНГ РОССИИ 2015

1930 – 85 ЛЕТ – 2015
СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Международная научно-практическая конференция

Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов

Новокузнецк
2015

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

ВК «Кузбасская ярмарка»

Посвящается 85-летнему юбилею СибГИУ

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Под общей редакцией профессора В.Н. Фрянова

Новокузнецк
2015

УДК 622.2
ББК 33.1
Н 340

Н 340 Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2015, – 404 с.

ISSN 2311-8342

В сборнике представлены материалы Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов», проводимой в рамках выставки-ярмарки «Уголь России и Майнинг». Кратко изложены результаты научных и практических работ по направлениям решения проблемы стабилизации угольной промышленности в рыночных условиях. Материалы конференции включают в себя статьи по следующим секциям: геотехнологии освоения ресурсного потенциала недр, управление в социальных и экономических системах горнодобывающих регионов, электротехнические и автоматизированные системы горного производства, промышленная и экологическая безопасность горных предприятий. Представленные материалы позволят ученым и производственникам оценить эффективность различных подходов к решению угольной проблемы.

Сборник рассчитан на научных и научно-технических работников, специалистов угольной промышленности, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

Редакционная коллегия:
д.т.н., профессор Л.П. Мышляев, д.т.н. Л.Д. Павлова (технический редактор),
д.э.н. Т.В. Петрова, д.т.н., профессор Е.В. Пугачев,
д.т.н., профессор В.Н.Фрянов (ответственный редактор)

УДК 622.2
ББК 33.1

ISSN 2311-8342

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2015

УДК 622.831

ЭКПЕРИМЕНТАЛЬНО-ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ УГЛЕДОБЫЧИ

д.т.н. Фрянов В.Н., д.т.н. Павлова Л.Д.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Предложен метод прогноза геомеханических параметров системы «угольный пласт - вмещающие породы - очистной забой - аномальные зоны» на основе численного моделирования с настройкой модели по результатам мониторинга процессов в очистном забое угольных шахт. Метод рекомендуется для выявления аномальных зон впереди очистного забоя и разработки мероприятий по профилактике аварий и инцидентов.

Ключевые слова: очистной забой, угольный пласт, аномальные зоны, метод конечных элементов, мониторинг, вертикальные смещения.

Достижения отечественной и зарубежной горной науки и практики, а также внедрение инновационных разработок фундаментальной науки на угледобывающих предприятиях привели к существенному улучшению технико-экономических показателей угольных шахт. В период 2000-2014гг. в России произошло увеличение объёма добычи угля подземным способом на 16%, суточной нагрузки на комплексно-механизированный очистной забой (КМЗ) от 1324 до 4267 т, то есть в 3,2 раза; производительность труда рабочего поднялась почти в два раза [1]. На некоторых шахтах Кузбасса (ООО «Шахта Листвяжная», Филиал ОАО «Черниговец» - шахта «Южная», ОАО «СУЭК-Кузбасс») среднесуточная нагрузка на КМЗ составляет 9-10 тыс.т, то есть в 2-3 выше средней по бассейну. Однако многие шахты работают с нагрузкой 0-5000 т в сутки. Основной причиной нестабильной работы КМЗ шахт Кузбасса по сравнению с показателями высокопроизводительных КМЗ отечественных и зарубежных шахт является недостаточная адаптивность современных российских и импортных технических средств и технологий к специфическим и изменяющимся горно-геологическим и горнотехническим условиям угольных месторождений.

К таким условиям, ограничивающим возможности высокопроизводительного оборудования и прогрессивных технологий подготовки и отработки шахтных полей, следует отнести изменения мощности и угла падения угольного пласта в пределах выемочного участка, мощности и прочностных свойств вмещающих угольный пласт пород; наличие пликативных и дизъюнктивных геологических нарушений; высокую газоносность угольных пластов, склонность угля к самовозгоранию, склонность угольных пластов к газодинамическим явлениям, наличие на вышележащих пластах опасных зон в виде очагов эндогенных пожаров и затопленного водой выработанного пространства.

В последнее десятилетие, по мере накопления знаний о геодинамических процессах [2, 3], появились признаки негативного воздействия на безопасность горных работ «роевых землетрясений», происходящих под влиянием техногенных и природных событий: массовых взрывов на рудниках и карьерах, обрушений подработанных на больших площадях пород кровли, разрушения угольных целиков при отработке свиты угольных пластов, прорывов глубинного метана в горные выработки, природного поля напряжений с превышением в 2-3 раза горизонтальных напряжений по сравнению с вертикальными и др.

Существующие нормативные и методические документы, разработанные по результатам натурных исследований в период 80-х годов прошлого столетия, в связи с инновационными изменениями основных элементов технологических схем выемочных участков шахт за последние 30-40 лет, не обеспечивают необходимую для опасного горного производства надёжность прогноза геомеханических, газодинамических и технологических па-

раметров. Возможность применения действующих методик и рекомендаций ограничивается типовыми технологическими схемами, которые рекомендуется применять при следующих условиях: бесцеликовые способы охраны выработок, поперечное сечение подготовительных выработок не более 20 м^2, угол падения пластов до 35^o, ширина выработок не более 6 м, длина лавы до 250 м и др. Во всех остальных случаях рекомендуется проводить дополнительные исследования или получить положительное заключение экспертной специализированной организации.

Новые нормативные документы или рекомендации, как правило, используют основные положения устаревших документов, базируются на результатах исследований 10-15 - летней давности и не обеспечивают надёжность прогнозируемых геомеханических и технологических параметров угольных шахт, что подтверждается групповыми несчастными случаями на шахтах «Юбилейная», «Тайжина», «Ульяновская» и других в Кузбассе. Коэффициент частоты смертельных случаев (количество случаев на 1000 работающих) на шахтах России составляет 0,138, для сравнения на шахтах США этот показатель равен 0,054, Германии – 0,080, то есть на шахтах России имеются резервы не только повышения нагрузки на КМЗ, но и снижения уровня травматизма.

Статистический анализ показателей работы КМЗ на шахтах Кузбасса показал, что при отработке почти каждого выемочного столба происходят аварийные остановки забоя или снижение скорости его подвигания по следующим причинам:

- переход КМЗ диагонально расположенных по отношению к оси выемочного участка выработок в виде печей, сбоек и других вспомогательных выработок, предназначенных для проветривания подготовительных забоев при подготовке выемочного участка, обеспечения запасных выходов в соответствии с требованиями Правил безопасности [4];

- внеплановый переход КМЗ дизъюнктивных геологических нарушений, которые, как правило, не прогнозируются при проведении горно-геологического прогноза на стадии разработки паспортов выемочного участка;

- ведение очистных работ в зонах повышенного горного давления, создаваемых угольными целиками-штампами и краевыми участками выработанного пространства на сближенных подрабатываемых или надрабатываемых пластах свиты;

- ведение очистных работ под затопленными водой при тушении пожаров на верхних пластах выработанными пространствами, что приводит к увеличению обводнённости подрабатываемых пород кровли и шахтного притока воды в горные выработки, снижению несущей способности пород кровли и почвы;

- приближение КМЗ к ранее пройденной демонтажной камере или при её формировании, как правило, приводит к снижению скорости подвигания очистного забоя, увеличению концентрации метана, выделяющегося из выработанного пространства и пластов-спутников при обрушении подработанных пород кровли;

- полный или частичный перемонтаж механизированного комплекса при уменьшении мощности пласта, аварийном обрушении пород кровли в очистном забое, сокращении длины лавы при изменении горно-геологических условий или разрушении угольного целика между выработками выемочного столба;

- снижении несущей способности механизированной крепи при неустойчивых вмещающих породах или при неполной выемке угольного пласта слоями с оставлением угольных пачек у кровли и почвы;

- загазирование горных выработок при прорывах метана из пластов-спутников, метановоздушной смеси из очистного выработанного пространства при периодических обрушениях подработанных пород кровли;

- появлении признаков самовозгорания угля в выработанном пространстве и необходимости проведения профилактических работ по предотвращению эндогенных пожаров;

- влиянии «человеческого фактора» при ведении горных работ или выполнении технологических процессов с отступлениями от проектных решений или требований нормативных документов.

Таким образом, в угольной промышленности России создалась ситуация, которая характеризуется применением современного высокопроизводительного отечественного и импортного горно-шахтного оборудования и технологий, эффективность которых снижается при высокой аварийности и нестабильности работы КМЗ.

Одним из путей снижения уровня аварийности и повышения стабильности работы КМЗ является прогнозирование риска возникновения предаварийных ситуаций, обоснование и реализация мероприятий по снижению вероятности аварий и инцидентов. Общая схема предлагаемого варианта управления взаимодействующими технологическими, геомеханическими, газодинамическими и организационными процессами шахты при отработке выемочного участка представлена на рис. 1.

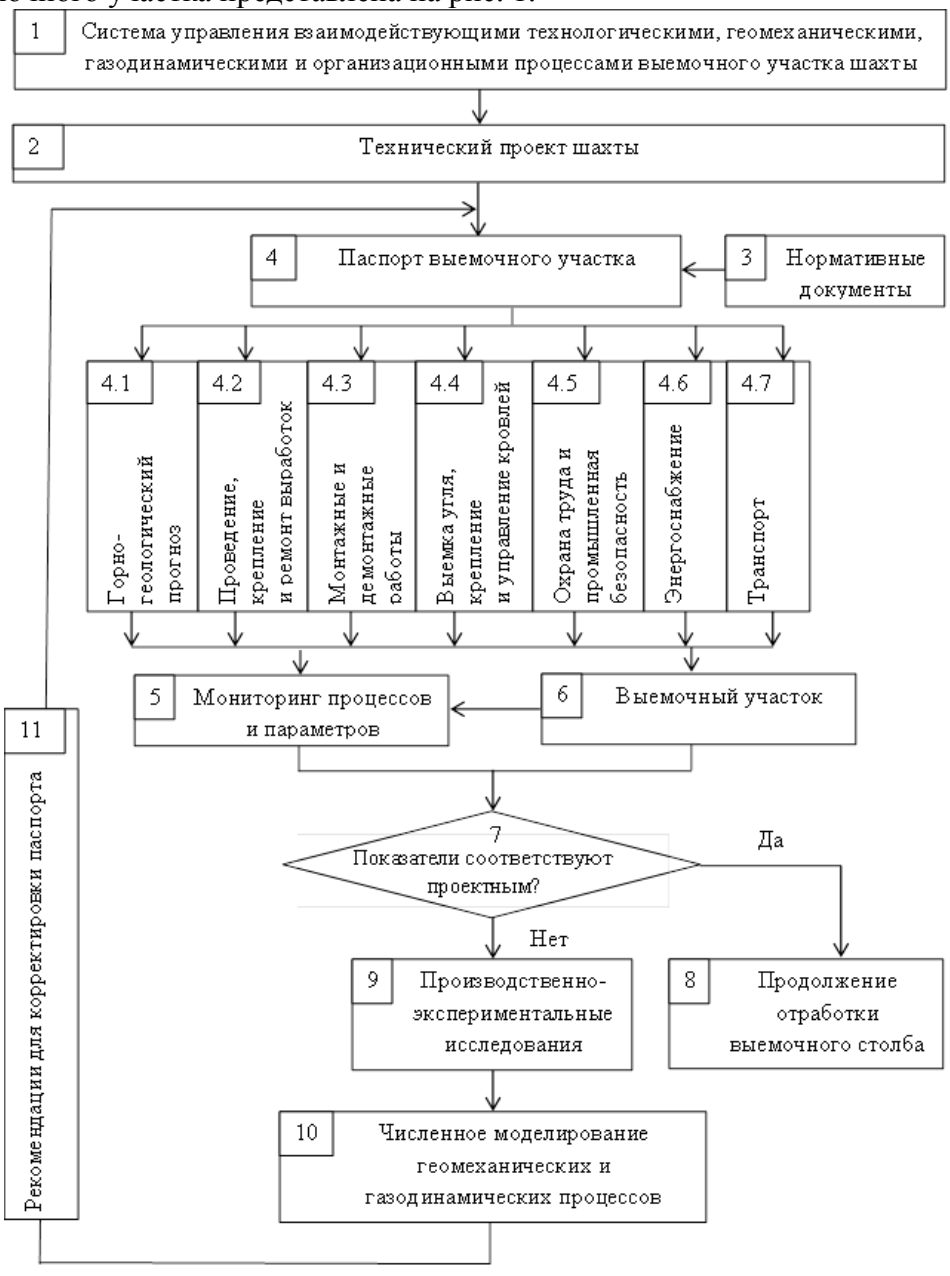


Рис. 1. Схема управления процессами при отработке выемочного столба

Представленную схему управления горными работами на выемочном участке следует рассматривать как механизм формирования и принятия решений, которые компенсируют негативное влияние указанных выше факторов и обеспечивают устойчивую и эффективную по экономическим и социальным параметрам работу КМЗ.

Реализация системы управления осуществляется по следующему сценарию.

На основе согласованного и утверждённого в установленном порядке технического проекта строительства шахты или проектной документации по техническому перевооружению [4] разрабатывается паспорт выемочного участка [5], блок 4 на рис.1. Для этого традиционно используются действующие нормативные документы и методические указания (блок 3). При выявленных аномальных условиях, не указанных в этих документах, используются заключения специализированных экспертных организаций. Так как все заключения этих организаций проверяются при экспертизе на соответствие действующим нормативным и методическим документам, то заключения включают элементы запрета ведения горных работ в аномальных зонах выемочного участка. Иногда эти обязательные к реализации обременительные мероприятия приводят к снижению эффективности или экономической нецелесообразности отработки выемочного столба. Результаты анализа производственного опыта отработки участков пласта в аномальных зонах подтверждают, что хотя мероприятия реализуются не в полном объёме, инциденты и аварии не возникают. Эти случаи порождают у специалистов шахт недоверие к специализированным организациям. Ситуация объясняется отсутствием у специализированных и экспертных организаций современных компьютерных программных средств и творческих специалистов, способных принимать нестандартные решения.

Для исключения этого недостатка специализированных и экспертных организаций предлагается повысить квалификацию их персонала, обеспечить современными объектно-ориентированными пакетами компьютерных программ для моделирования альтернативных вариантов развития событий, оценки риска возникновения предаварийных ситуаций и выбора оптимального варианта отработки выемочного столба по заданным критериям оптимизации.

Один из таких авторских пакетов программ разработан в Сибирском государственном индустриальном университете и рекомендуется для практического использования [6-8]. Положительный опыт применения нескольких модификаций этого пакета накоплен при прогнозе геомеханической ситуации на шахтах «Полосухинская», «Алардинская» и «Ерунаковская VIII» в Кузбассе. При таком методическом подходе с использованием результатов моделирования процессов в паспорте выемочного участка будут приняты технологические и организационные управляющие воздействия, которые обеспечат снижение рисков возникновения аварий и или нестабильной работы КМЗ.

После разработки всех элементов паспорта выемочного участка (блоки 4.1 – 4.7 на рис.1) и утверждения проектной документации в установленном порядке осуществляется подготовка и отработка выемочного столба (блок 6). Одновременно проводится визуальный и инструментальный мониторинг (блок 5 на рис.1) технологических процессов, состояния горного массива, параметров шахтной атмосферы, режимов выполнения отдельных операций и приёмов. Визуальный мониторинг включает обязательный осмотр в течение смены состояния крепи, краевой части угольного пласта и пород кровли, машин и оборудования, средств обеспечения промышленной безопасности. Инструментальный мониторинг осуществляется переносными приборами измерения параметров шахтной атмосферы, автоматизированным контролем параметров шахтной атмосферы и режимов работы оборудования стационарными датчиками. Для этого применяются автоматизированные системы Minewatch PC21 фирмы «Davis Derby», Микон-1Р и GRANCH SBTC-2.

Результаты мониторинга работы КМЗ сравниваются с проектными показателями (блок 7 на рис.1). При отклонениях показателей в пределах приемлемого риска принимаются оперативные управляющие воздействия в виде сменных заданий и нарядов и осуществляется нормальная работа КМЗ (блок 8 на рис.1).

При существенных отклонениях фактических показателей КМЗ от проектных осуществляются производственно-экспериментальные исследования по разработанной программе и методике (блок 9 на рис.1). Учитывая необходимость минимизации времени и затрат на проведение эксперимента, предлагается использовать методику точечного инструментального и визуального мониторинга с интеграцией результатов численного мо-

делирования и мониторинга посредством оперативной настройки параметров модели по экспериментальным данным. При проведении производственно-экспериментальных исследований дополнительно могут применяться приборы и оборудование для определения геомеханических параметров и физических полей углепородного массива в соответствии с методиками [3, 9, 10].

В процессе проведения производственно-экспериментальных исследований одновременно разрабатываются альтернативные варианты мероприятий по обеспечению показателей работы КМЗ, соответствующих проектным. Для каждого варианта формируется геометрическая модель системы углепородный массив-горные выработки и адаптируется модель численного моделирования методом конечных элементов (блок 10). Сущность адаптации численной модели состоит не только в описании геометрического подобия модели, но и настройке её входных параметров по результатам производственно-экспериментальных исследований.

Для этого используется экспериментально-аналитический метод [11], научная основа которого состоит в использовании при аналитическом решении задач о геомеханическом состоянии в качестве граничных условий результатов натурных наблюдений. Однако применение экспериментально-аналитического метода возможно для простых типовых форм горных выработок и геомассива, включающего пологий угольный пласт без геологических нарушений и аномальных зон.

На основе синтеза теоретических основ численного метода конечных элементов и многолетнего опыта его применения для моделирования геомеханических процессов на угольных шахтах авторами разработан и предлагается для практического использования экспериментально-численный метод прогноза геомеханических параметров.

Сущность нового метода состоит в следующем. При разработке паспорта выемочного участка геологической и технологической службами шахты прогнозируются возможные ситуации развития геомеханических и газодинамических процессов с учётом вероятных форм и размеров аномальных зон, характера сдвижения массива горных пород, планируемых остановок или снижения скорости подвигания КМЗ при плановых ремонтах или переходе выработок. При разработке программы исследований рекомендуется использовать результаты геофизического зондирования геомассива и методические указания [3]. Составляется программа численного моделирования напряжённо-деформированного состояния геомассива. По результатам моделирования устанавливаются зависимости изменения смещений и деформаций пород кровли и почвы, нагрузок на секции механизированной крепи, объёмов вывалов пород и отжима угля в призабойное пространство КМЗ. В рамках предлагаемого экспериментально-численного метода осуществляется адаптивное краткосрочное прогнозирование состояния системы «угольный пласт - вмещающие породы - очистной забой - аномальные зоны» по результатам мониторинга корректируются параметры модели, то есть она адаптируется к изменяющимся условиям. В процессе моделирования следует учитывать, что информативные индикаторы должны соответствовать индикаторам, получаемым при мониторинге. В качестве индикаторов, которые могут быть получены при точечном мониторинге, предлагается использовать вертикальные смещения кровли и почвы пласта в очистном забое (просадки гидростоек механизированной крепи, давление эмульсии в гидросистеме, изменения наклонов пород кровли над перекрытием секций крепи). Сущность адаптивного краткосрочного прогнозирования и управления состоянием системы «угольный пласт - вмещающие породы - очистной забой - аномальные зоны», заключается в сравнении зависимостей указанных индикаторов, полученных по результатам моделирования и эксперимента. При качественном подобии форм графиков проводится идентификация соответствующего типа аномальной зоны. После идентификации типа аномальной зоны для профилактики вероятных опасных явлений разрабатываются мероприятия по их предотвращению (блок 11 на рис.1).

Предложенный метод демонстрируется на примере сравнительного анализа результатов численно-экспериментального прогноза геомеханических параметров при выемке

угольного пласта вне аномальных зон (рис. 2) и в зоне влияния дизъюнктивного нарушения (рис.3). Целью моделирования было выявление закономерности влияния дизъюнктивного нарушения на один из индикаторов – вертикальные смещения пород кровли и почвы.

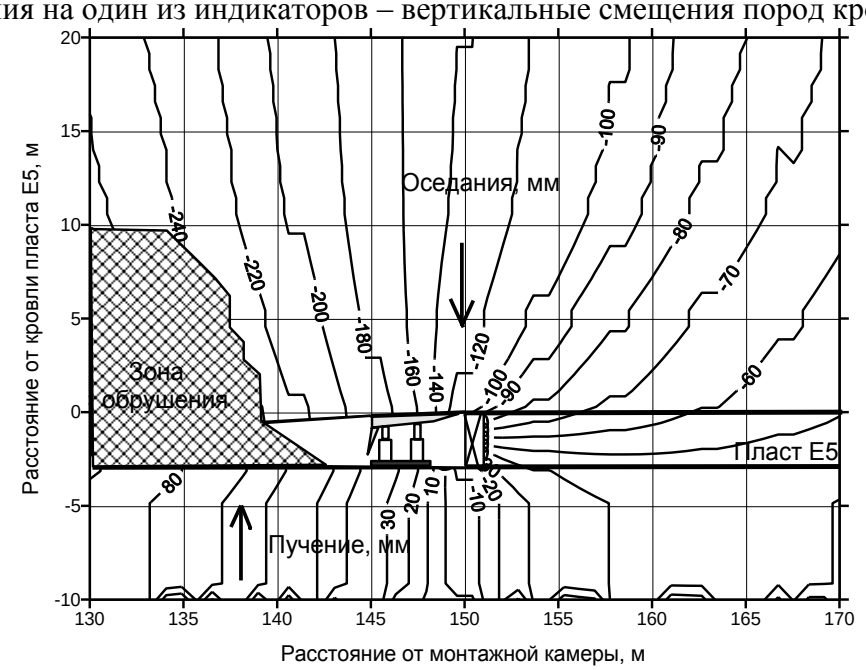


Рис. 2. Графики изменения вертикальных смещений пород кровли и почвы пласта при отсутствии аномальных зон

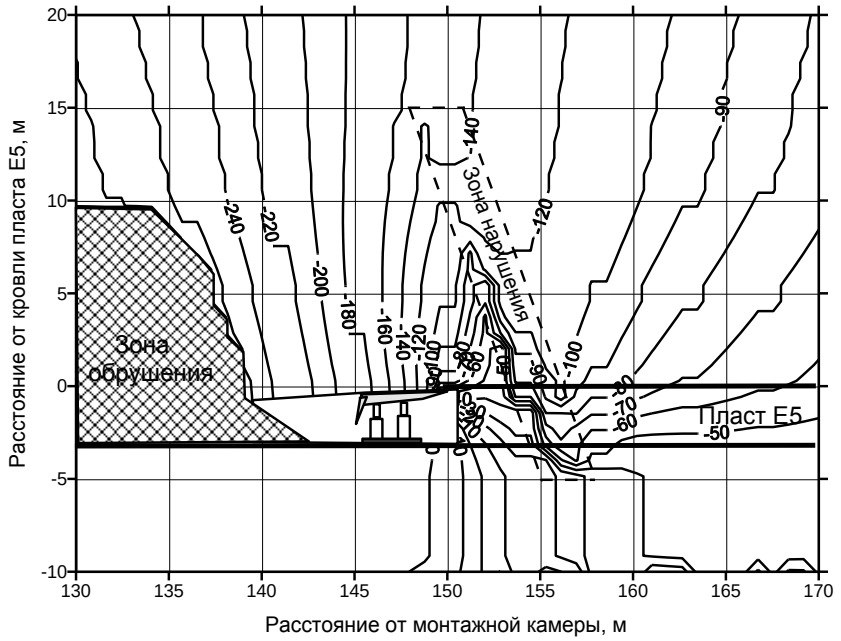


Рис. 3. Графики изменения вертикальных смещений пород кровли и почвы пласта в зоне влияния дизъюнктивного нарушения

Для моделирования приняты горно-геологические и горнотехнические условия отработки пласта Е5 на шахте «Осинниковская» в Кузбассе. Мощность отрабатываемого пласта 3,00 м, глубина разработки 540 м, расстояние от монтажной камеры до очистного комплексно-механизированного забоя 150 м. Из сравнения характера распределения смещений пород на рис. 2 и 3 следует, что аномальная зона в виде дизъюнктивного нарушения существенно влияет на величины оседаний и пучение пород кровли.

Из сравнения графиков распределения вертикальных смещений без учёта и с учётом влияния дизъюнктивного нарушения (на рис. 3 выделено пунктирными линиями) сле-

дует, что границы последнего можно рассматривать как аномальную зону. Влияние этой зоны проявляется посредством изменения формы графиков, увеличения вертикальных смещений в зоне дизъюнктива. По результатам анализа характера распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений и горизонтальных смещений установлено, что зона дизъюнктива влияет на распределение геомеханических параметров в окрестности очистного забоя как полость, заполненная дроблёными породами.

Для выявления количественных зависимостей вертикальных смещений пород кровли и почвы вне и в зоне влияния дизъюнктива построены графики вертикальных смещений пород почвы (рис.4) и кровли (рис.5).

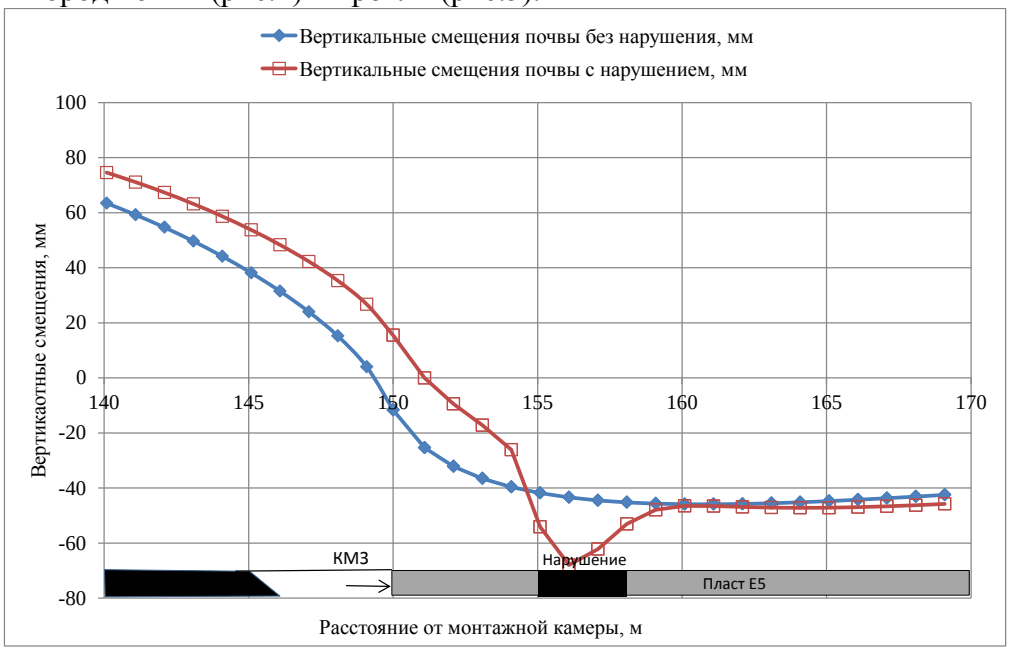


Рис. 4. Графики изменения вертикальных смещений пород почвы пласта

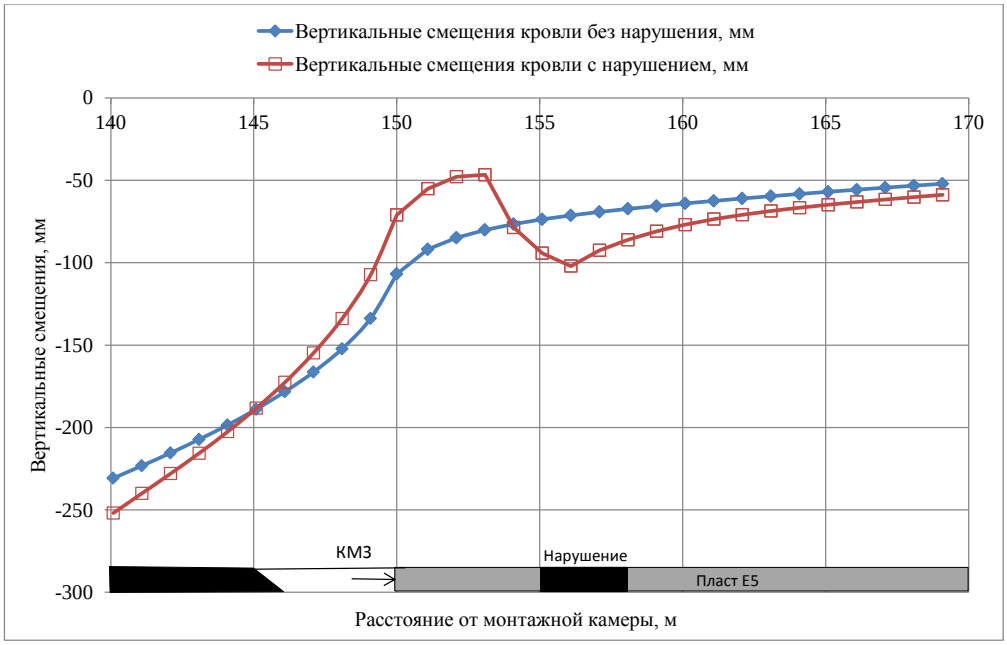


Рис. 5. Графики изменения вертикальных смещений пород кровли

Из графиков следует, что характер распределения прогнозируемых вертикальных смещений в виде оседаний пород почвы под пластом и пучения пород в выработанном пространстве подтверждаются результатами многочисленных экспериментальных исследований [9, 10]. В качестве характерной особенности кривых вертикальных смещений по-

род почвы следует выделить перемещение точки с нулевыми смещениями в сторону угольного пласта впереди очистного забоя под влиянием дизъюнктивного нарушения. Эту закономерность на практике следует рассматривать в случаях подъёма на отдельных участках лавы забойного конвейера как предвестник зоны разрушенных пород впереди очистного забоя. Резкое увеличение вертикальных смещений пород почвы в виде «просадок» гидростоек в зоне нарушения также необходимо использовать при выборе начального распора в гидростойках, так как возможно внедрение основания секций крепи в почву пласта.

Влияние дизъюнктивного нарушения на устойчивость секций механизированной крепи можно оценить по следующим индикаторам пород кровли: изменению угла наклона перекрытия секций крепи и оседаний перекрытия секций крепи кровли (рис. 5). По мере приближения линии забоя к нарушению угол наклона перекрытия увеличивается, а «просадки» гидростоек уменьшаются.

Выводы. На основе проведённого анализа способов и средств управления системой «угольный пласт - вмещающие породы - очистной забой - аномальные зоны», а также полученных результатов численного моделирования геомеханических процессов в зоне влияния дизъюнктивного нарушения обоснованы следующие выводы и рекомендации:

1) Выявлены следующие причины и факторы, влияющие на устойчивость показателей работы очистных комплексно-механизированных забоев (КМЗ) угольных шахт в аномальных зонах: переход КМЗ подготовительных выработок и геологических нарушений, ведение очистных работ в зонах повышенного горного давления и под затопленными водой выработанными пространствами, приближение КМЗ к демонтажной камере, полный или частичный перемонтаж механизированного комплекса, снижение несущей способности механизированной крепи при неустойчивых вмещающих породах, загазирование горных выработок, признаки самовозгорания угля в выработанном пространстве, «человеческий фактора».

2) Разработана схема управления процессами, реализация которой обеспечивает безаварийную отработку выемочного столба с плановыми показателями.

3) Разработан и реализован численно-экспериментальный метод прогноза геомеханических параметров движущегося КМЗ. Сущность метода состоит в интеграции производственно-экспериментальных исследований, численного моделирования с настройкой модели по результатам натурного мониторинга для прогнозирования по геомеханическим индикаторам вероятности расположения впереди забоя аномальных зон и оперативной реализации мероприятий по профилактике вредного влияния геомеханических и газодинамических процессов в этих зонах. Реализации метода осуществляется с использованием разработанных авторских комплексов компьютерных программ.

4) Проведена апробация программного обеспечения на реальном объекте и установлено, что в очистном забое геомеханическими и газодинамическими индикаторами для прогноза пространственного положения аномальных зон являются: вертикальные смещения пород кровли и почвы, наклоны пород кровли, отжим угля с поверхности угольного пласта в забое, интенсивность газовыделения, водоприток.

Список литературы

1.Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2014 года [Текст]/ И.Г. Таразанов // Уголь. – 2015. - №3. – С. 56-71.

2. Сейсмобезопасность территории Кемеровской области на 2005-2010 годы. Региональная целевая программа. Закон Кемеровской области. Принят Советом народных депутатов Кемеровской области 26 октября 2004 г.

3. Методические указания по созданию системы контроля состояния горного массива и прогноза горных ударов как элементов многофункциональной системы безопасности угольных шахт [Текст] /Д.В. Яковлев, Т.И. Лазаревич, А.Н. Поляков, С.Н. Мулев и др.- СПб.: ВНИМИ, 2012. -83 с.

4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах», утверждённые приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 ноября 2013 года № 550.- Зарегистрировано в Минюсте России 31.12.2013 № 30961. – 100 с. – Режим доступа: http://inoteh-prk.ru/docs/pravo/pb_um.pdf.

5. Правила безопасности в угольных шахтах. Книга 2. Инструкции. – [Текст]/Самара: Самар. Дом печати, 1996. – 352 с.

6. Павлова Л.Д. Расчет параметров объемного геомеханического состояния слоистого массива горных пород при отработке свиты пологих или наклонных угольных пластов / Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Компьютерные учебные программы и инновации. – 2007. - № 5 – С.164.

7. Корнев Е.С. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов методом конечных элементов / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 65–69.

8. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов в горном массиве при подземной разработке угольных пластов/ Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов: [Электронный ресурс]: информационный образовательный ресурс; Сиб. гос. индустр. ун-т // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование». – 2012. – № 3. – Режим доступа: http://ofernio.ru/portal/newspaper/ofernio/2012/3.doc (дата обращения: 26.06.2012).

9. Клишин В.И. Анализ автоматизированных отчётов оценок XMDA системы MARCO SYSTEMANALISE UND ENYWICKLUNG GMBH (ГЕРМАНИЯ) при её эксплуатации на шахте «Комсомолец» ОАО «СУЭК-КУЗБАСС»[Текст] /В.И. Клишин, А.О. Вессель//Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб.науч.статей. – Новокузнецк: СибГИУ, ЗАО «Кузбасская ярмарка», 2013. – С.12-17.

10. Техника экспериментального определения напряжений в осадочных породах [Текст] /М.В. Курленя, В.К. Аксёнов, А.В. Леонтьев, М.Б. Устюгов.- Новосибирск: Наука, 1975. – 105 с.

11. Грицко Г.И. Экспериментально-аналитический метод определения напряжений в массиве горных пород [Текст] / Г.И. Грицко, Б.В. Власенко. – Новосибирск: Наука, 1976. – 190 с.

УДК 622.831; 622.235

РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

[1]д.т.н. Еременко А. А., [2]Башков В. И.

1 - Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,
г. Новосибирск, Россия
2 - ОАО «Евразруда»,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация: Приведены разработки научно-методических основ развития комплекса технологических решений ресурсосберегающих геотехнологий освоения месторождений, включающие рациональные варианты систем разработки, технологические схемы, методы выбора крепей в удароопасных условиях и параметры буровзрывных работ. Дана схема расположения микросейсмической сети в шахтном поле. Предложены способы управления горным давлением.

Ключевые слова: геотехнология, месторождение, горный удар, блок, камера, целик, крепь

Минерально-сырьевые ресурсы – важный потенциал для устойчивого экономического развития страны и являются гарантом для удовлетворения текущих и перспективных потребностей экономики России с учетом экологических, социальных, демографических, оборонных и др. фактов, гарантом экономической безопасности страны и превращения ее в ведущую экономическую державу. Более половины разведанных запасов заключено в 14 разрабатываемых объектах, по масштабу – уникальных и крупных, обеспечивающих более 90 % в стране производимых железных руд (рис. 1).

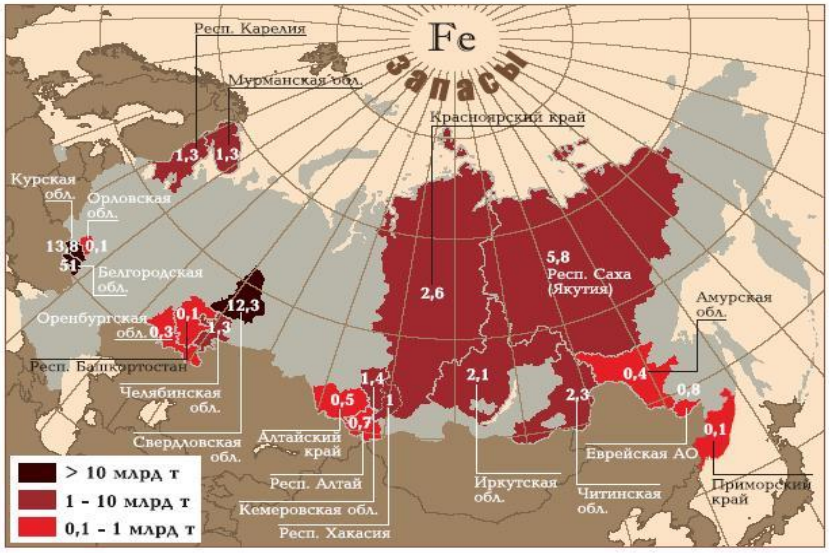


Рис. 1. Распределение балансовых запасов железных руд по субъектам РФ, млрд т

На территории Сибирского федерального округа запасы категорий А+В+С1 составляют 13,1 % от общероссийских, добыча сырой руды 10,3 %, производство товарной руды 13,1 % (табл.) [1].

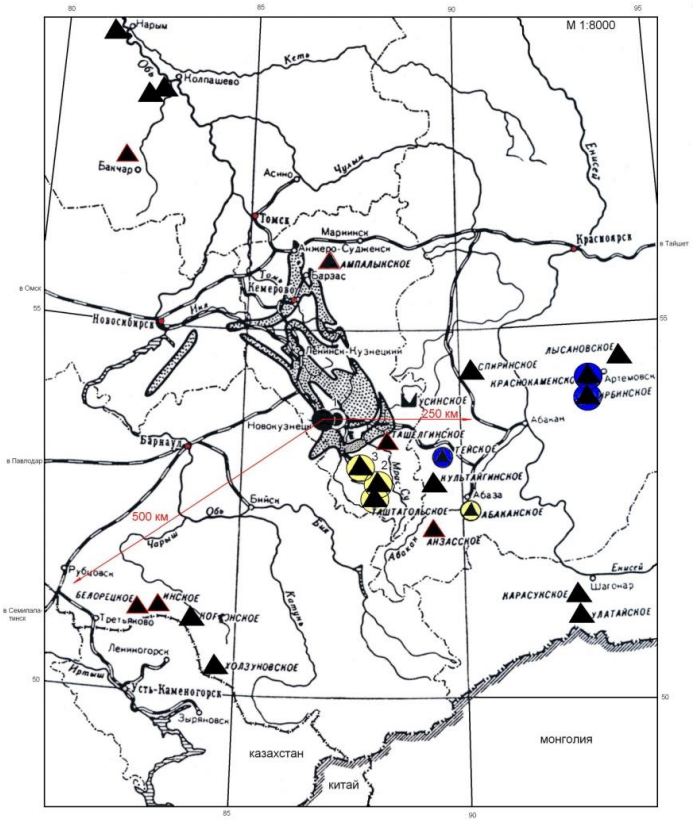
Таблица

Железорудная база Сибирского Федерального округа

Субъект Российской Федерации	Количество месторождений	Балансовые запасы, по категориям, млн т		Прогнозные ресурсы, млн т			Добыча руды из недр, млн т
		$A+B+C_1$	C_2	Всего	В том числе по категориям		
					P_1	P_2	
Западная Сибирь							
Кемеровская обл.	10	938,6	517,6	3240	3158	32	5,027
Алтайский край	2	452,3	37,5	–	–	–	–
Республика Алтай	1	407,6	272,5	–	–	–	–
ИТОГО	13	1798,5	827,6	3240	3158	32	5,027
Восточная Сибирь							
Республика	8	628,4	353,6	1079	582	297	3,57

Хакасия							
Красноярский край	23	1777,7	850,6	188	18	120	2,96
Иркутская обл.	11	1872,3	274,7	2740	1630	1110	10,12
Читинская обл.	4	1200,9	841,6	4033	533	3500	–
Республика Бурятия	–	–	–	1800	–	1800	–
ИТОГО	46	5479,3	2320,5	9840	2763	6827	16,65
ВСЕГО	59	7277,8	3148,1	13080	5921	6859	21,27

Металлургические предприятия Западной Сибири до 60% обеспечены сырьем собственной сырьевой базы – железорудными месторождениями Кемеровской области, юга Красноярского края и Республики Хакасия (рис. 2).



- разрабатываемые месторождения железных руд подземным способом;
- разрабатываемые месторождения железных руд открытым способом;
- месторождения железных руд;
- перспективные железорудные месторождения;
- месторождения марганцевых руд;
- Кузнецкий каменноугольный бассейн;
- Западно-Сибирский металлургический комбинат;
- Новокузнецкий металлургический комбинат

1 - Западно-Сибирский металлургический комбинат;
2 - Шерегешевское месторождение; 3 - Казское месторождение

Рис. 2. Железорудные месторождения Западной Сибири

В последние годы отработка месторождений твердых полезных ископаемых открытым и подземным способами характеризуется ухудшением горно-геологических условий в

связи с понижением глубины горных работ и доработкой оставшихся запасов руд, зачастую залегающих в склонных и опасных по горным ударам условиях. Горные работы на месторождениях ведутся в условиях высокого уровня «остаточных напряжений» в горном массиве, как правило, приуроченных к зонам тектонических нарушений; увеличения с глубиной количества тектонических нарушений; невыдержанной мощности полезного ископаемого как по падению, так и по простиранию; присутствие литологических разностей полезного ископаемого с различными показателями физико-механических свойств; наличия некондиционных участков и участков непромышленной мощности [2-4].

Несомненная эффективность ресурсовоспроизводящих геотехнологий и разработанных конструкций типовых горнотехнических систем обусловливает перспективность их применения в прогрессивных проектах комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых. Переход к разработке рудных тел на больших глубинах обусловил необходимость решения принципиально новых задач по обоснованию рациональных параметров технологий освоения рудных месторождений. В России и за рубежом развитие горнорудного производства осуществляется за счет подготовки и отработки действующих горизонтов и освоения новых, глубоко залегающих рудных тел.

Целью исследований является разработка комплекса научно-технологических решений на основе ресурсосберегающих технологий освоения месторождений твердых полезных ископаемых, обеспечивающих развитие рентабельной минерально-сырьевой базы горнодобывающей промышленности и снижение техногенной нагрузки на окружающую среду.

В связи с этим разработана физико-техническая геотехнология освоения месторождений твердых полезных ископаемых в условиях изменения геодинамического режима на рудных месторождениях, склонных и опасных по горным ударам. Система разработки с обрушением налегающих пород на базе интенсификации и совмещения производственных процессов представлена на рис. 3.

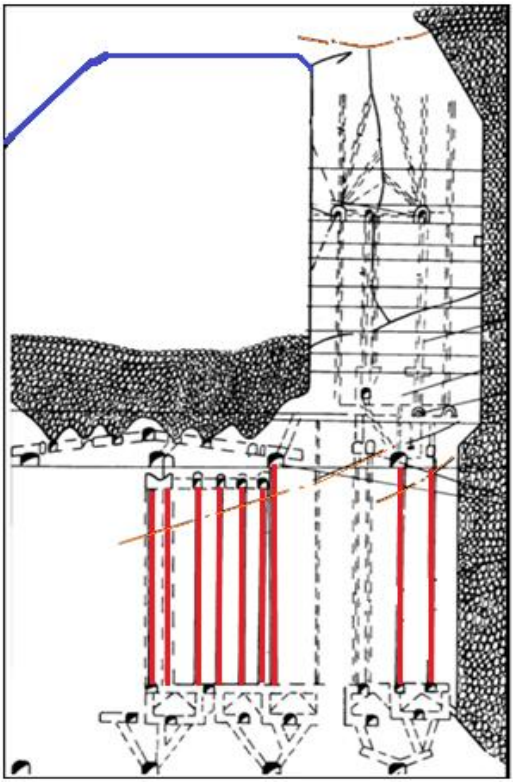
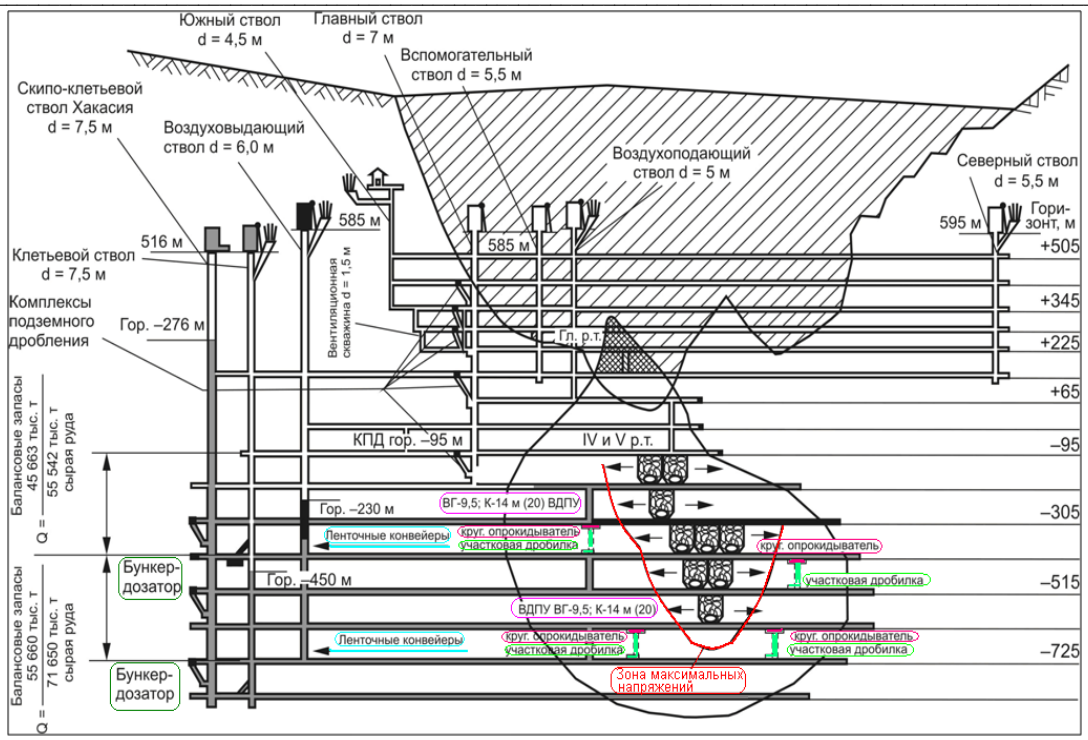


Рис. 3. Вариант обрушения сдвоенных этажей

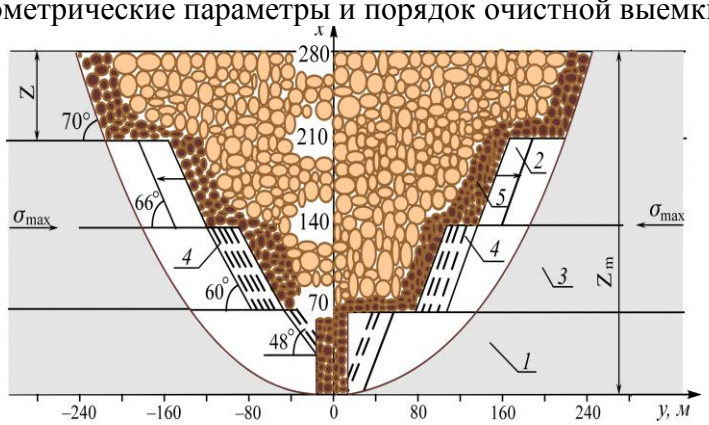
Предложены технологические схемы отработки рудных тел и участков с выпуском и доставкой горной массы и размещением дробильных комплексов (рис. 4).



595-–725 — горизонты; КПД — комплекс подземного дробления; d — диаметр; ВГ — вагон; ВДПУ — виброустановка

Рис. 4. Технологическая схема отработки Абаканского месторождения

Разработаны геометрические параметры и порядок очистной выемки (рис. 5).



. Z, Z_m — высота этажа; σ_{max} — направление максимальных напряжений; 70-280 — горизонты в шахте; 1 — породный массив; 2 — блок; 3 — приконтурный массив; 4 — скважины; 5 – горная масса; 48-70° — угол раствора ветвей параболы

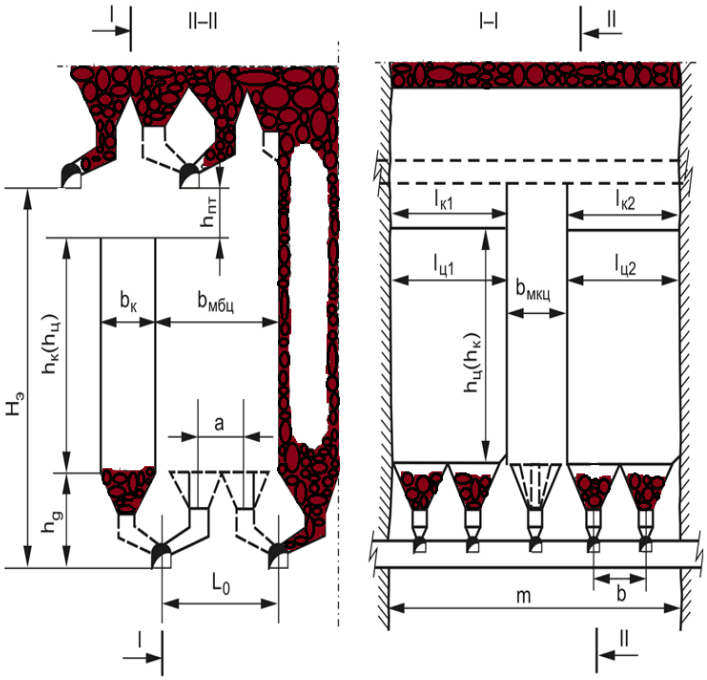
Рис. 5. Схема очистной выемки на удароопасном рудном месторождении

Определены конструктивные параметры очистных блоков, камер, целиков, подсечных пространств и горных выработок (рис. 6).

Дано решение научной проблемы по совершенствованию взрывного разрушения горных пород в виде крупномасштабной отбойки в условиях удароопасности на железорудных месторождениях Горной Шории и Хакасии. Разработаны определяющие параметры взрывной отбойки, в том числе расстояние между рядами сближенных зарядов и граничными размерами блоков с учетом взрывания на свободную поверхность и зажатую среду, которые составляют 3-6 м, а также рекомендуется рациональный удельный расход ВВ на отбойку, равный 0,6-0,675 кг/т.

При массовом обрушении блоков применение многорядного рассредоточения сближенных зарядов (до 3-6 рядов) с расположением сближенных зарядов диаметром 105 и 150 мм по незамкнутой дуговой схеме, а также с уменьшением их количества с 18-20 до

3-7 позволяет: увеличить на 25% выход руды с 1 м скважины; снизить выход негабаритной массы в 3 раза; сократить объем буровых ниш в 1,4 раза; уменьшить потери пробуренных скважин в 2 раза; снизить избыточное давление во фронте УВВ в 3 раза; повысить производительность труда на выпуске в 1,3 раза.



Нэ÷m — параметры элементов системы разработки

Рис. 6. Расположение выработок в блоке

Управление действием энергии взрыва при массовом обрушении руды достигается взаимным расположением вертикальных концентрированных и параллельно-сближенных зарядов ВВ увеличенного диаметра (150 и 250 мм) с опережающей отбойкой на четыре-шесть компенсационных камер и с последующей на зажатую среду (рис. 7). При этом снижается удельный расход ВВ на отбойку в 1,2 раза.

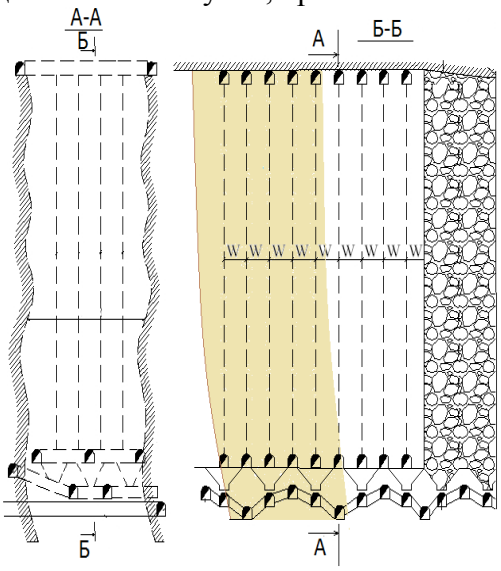
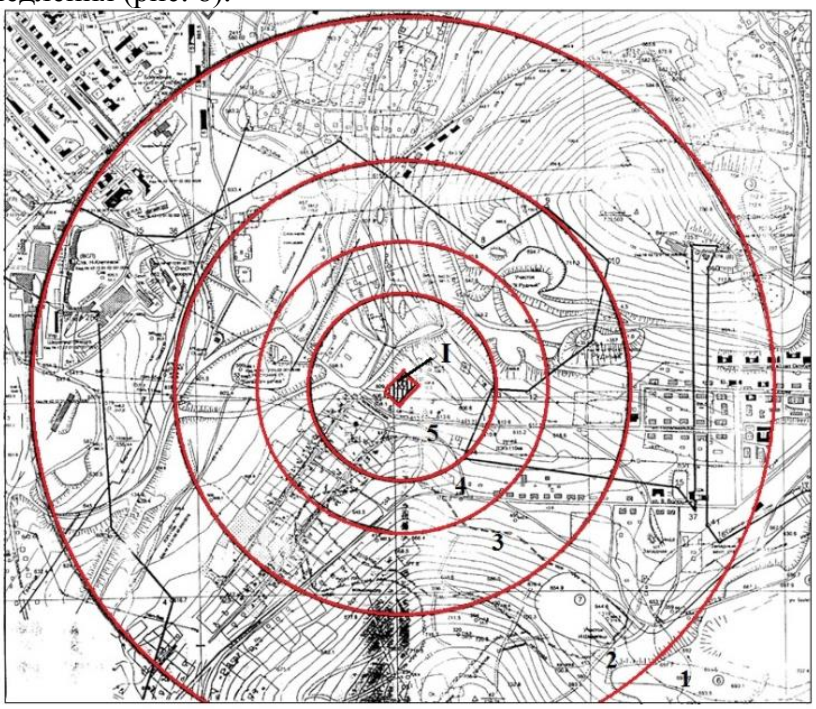


Рис. 7. Параметры буровзрывных работ с отбойкой на зажатую среду

Проведены экспериментальные исследования по оценке влияния взрывов на сейсмическое и динамическое воздействие на здания, сооружения и горные выработки. По результатам регистрации сейсмовзрывных волн на мобильных сейсмопунктах построена карта сейсмической активности в районе месторождений Горной Шории. Установлено,

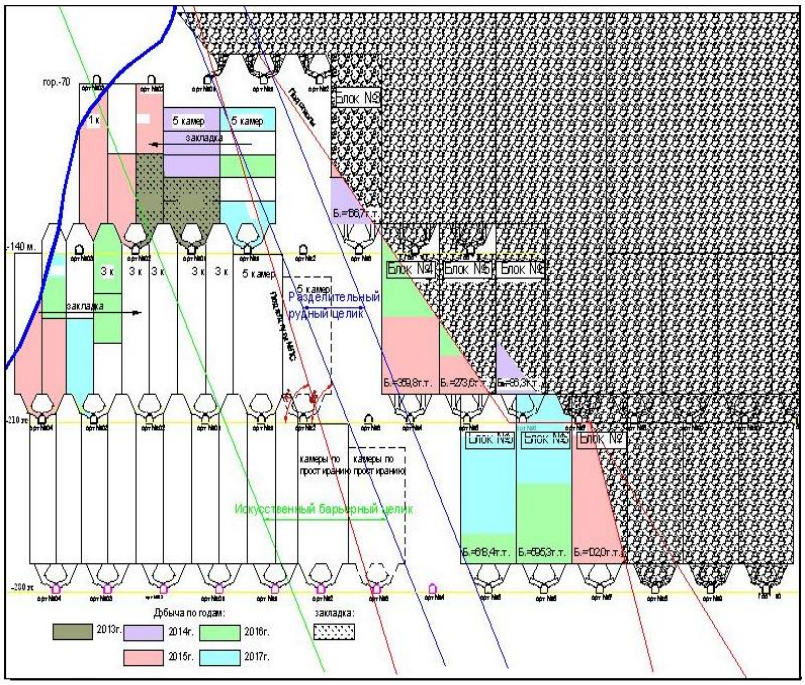
что на распределение зон балльности оказывает влияние максимальная величина ВВ в одной ступени замедления (рис. 8).



I — очаг взрыва; 1 - 5 — балльность

Рис. 8. Распределение зон балльности при взрыве на Шерегешевском месторождении

Прошли опытно-промышленные испытания способов разработки рудных запасов в предохранительных целиках под промышленными объектами, включающие применение системы разработки с обрушением налегающих пород: этажного (этажного принудительного обрушения, этажно-камерная и подэтажного обрушения) и с закладкой: этажно-камерная, камерно-целиковая системы с нисходящей выемкой (рис. 9).



1 - 3 — камеры; –70 ÷ –280 — горизонты

Рис. 9. Вариант отработки рудных запасов в предохранительном целике под стволы и реку на Таштагольском месторождении.

Дана оценка напряжений и деформационно-прогностических параметров в массиве горных пород. Введены в работу две системы сейсмического мониторинга на Таштагольском и Горно-Шорском филиалах ОАО "Евразруда" (рис. 10).

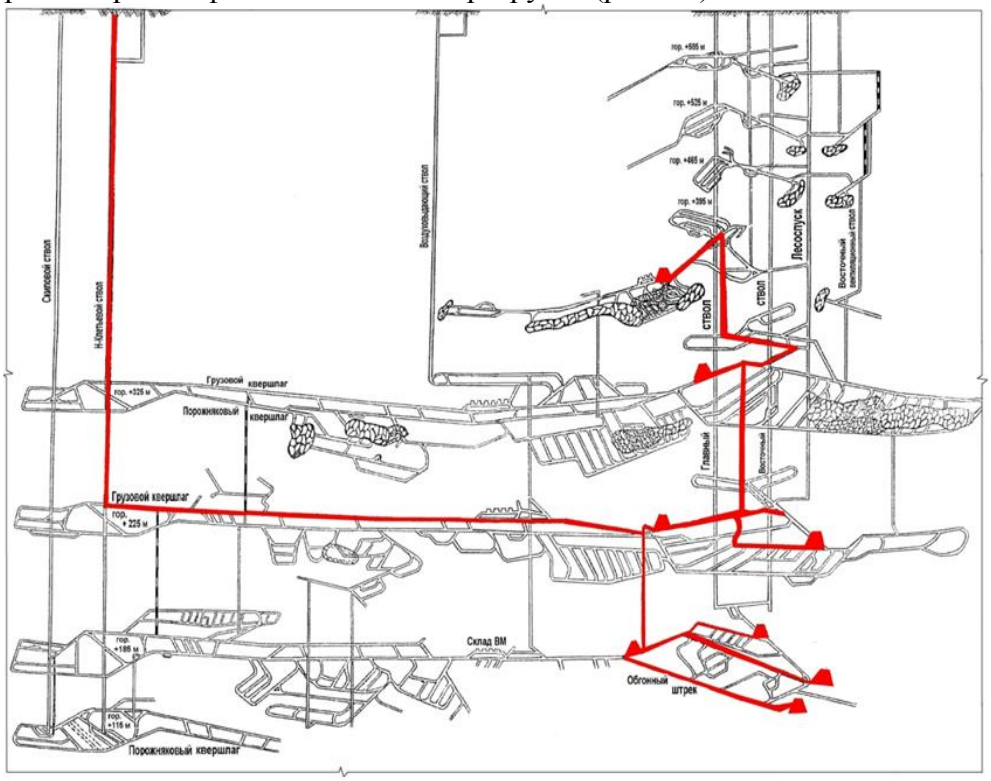


Рис. 10. Расположение микросейсмической сети на Шерегешевском месторождении

По результатам полученных данных определены зоны концентрации геодинамических явлений, что позволило разработать способы управления горным давлением, которые включают: изменение масштаба горных работ, последовательности и скорости отработки блоков, массу ВВ, схему расположения зарядов ВВ, интервалы замедления и др. (рис. 11).

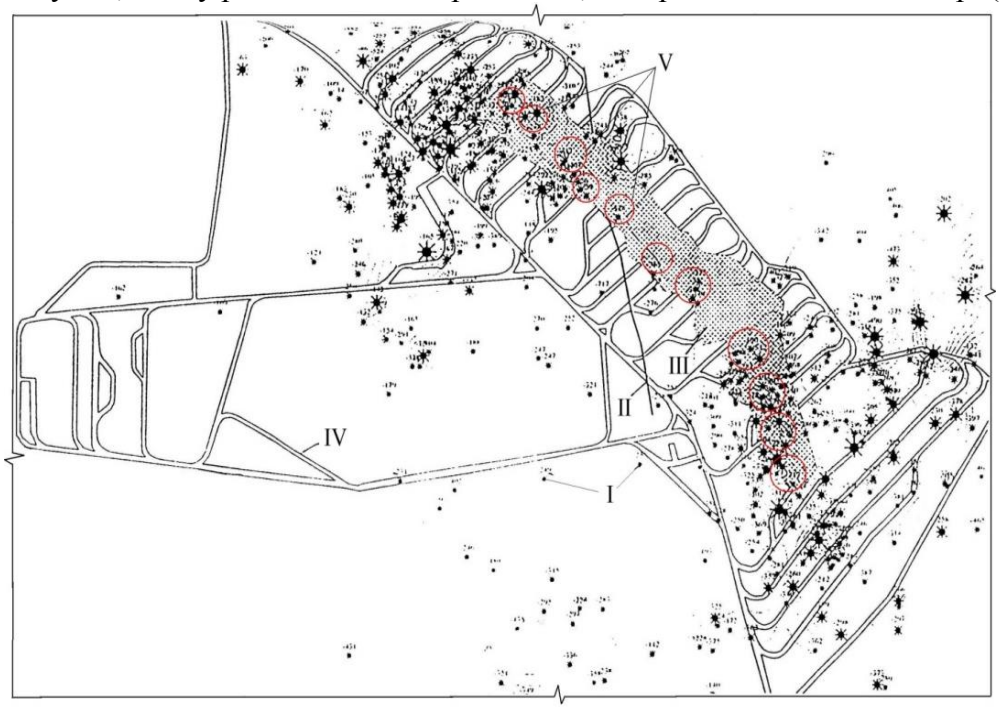


Рис. 11. Схема распределения зон концентрации геодинамических явлений на глубоком горизонте в шахте

Таким образом, созданы технологические схемы отработки рудных месторождений, позволяющие повысить производительность горных предприятий; разработаны технологии и технологические регламенты отработки рудных запасов под промышленными и водными объектами; разработаны способы буровзрывных работ, позволяющие снизить расход ВВ с повышением качества дробления горной массы и негативные экологические последствия очистных работ; установлено местоположение напряженных зон различной интенсивности и балльности на дневной поверхности и в подземных условиях; создана геоинформационная система мониторинга природной среды при техногенном воздействии на рудных месторождениях Горной Шории.

Список литературы

1. Железорудная база России / Под ред. В. П. Орлова, М. И. Веригина, Н. И. Голивкина. — М.: ЗАО "Геоинформмарк", 1998. — 842 с.

2. Курленя М.В., Еременко А. А., Цинкер П.М., Шрепп Б.В. Технологические проблемы разработки железорудных месторождений Сибири. — Новосибирск: Наука, 2002. – 239 с.

3. Еременко А. А., Еременко В. А., Гайдин А. П. Совершенствование геотехнологии освоения железорудных удароопасных месторождений в условиях действия природных и техногенных факторов. — Новосибирск: Наука, 2008. — 250 с.

4. Еременко А. А., Еременко В. А., Гайдин А. П. Горно-геологические и геомеханические условия разработки железорудных месторождений в Алтае-Саянской складчатой области — Новосибирск: Наука, 2009. — 224 с.

УДК 622.271.3

УДК 681.518.54

ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

чл.-корр. РАН, д.т.н. Клишин В. И., д.т.н. Герике Б. Л., к.т.н. Герике П. Б.
Институт угля СО РАН,
г. Кемерово, Россия

Аннотация. Изложены результаты оценки эффективности способов и средств диагностики узлов горнодобывающего оборудования. Доказано, что обслуживание оборудования по фактическому техническому состоянию позволяет увеличить межремонтный период.

Ключевые слова: планово-предупредительный ремонт, износ деталей, отказ оборудования, дефекты, диагностика.

Введение. На сегодняшний день на разрезах Кузбасса за основу принята система планово-предупредительных ремонтов оборудования, основной задачей которой является обеспечение работоспособности оборудования в течение заданного времени при минимальных затратах труда и материальных ценностей. Основой данной системы является плановая замена изношенных деталей. Время замены деталей вычисляется исходя из прогнозируемой скорости изнашивания детали. Наиболее характерными отказами для динамического оборудования являются постепенные (износовые) отказы.

Периодичность проведения ремонтов устанавливается в зависимости от сроков служб группы деталей. При этом срок службы каждой детали близок к среднему сроку службы и по нему может быть установлена периодичность ремонта механизма или машины. Возможность группирования сроков службы деталей около средних значений для

каждой группы является основным требованием ремонтно-эксплуатационной технологичности механизма или машины. Во всех случаях важно, чтобы периодичность ремонтов, т.е. сроки службы деталей, были кратны друг другу. Периодичность ремонтов экскаваторов строят таким образом, чтобы в механизмах не работали детали с аварийной стадией износа (при периодичности, большей срока службы группы деталей) и чтобы при ремонте не заменяли детали с не полностью использованным ресурсом работоспособности (при периодичности, меньшей среднего срока службы группы деталей).

В системе технического обслуживания и ремонта экскаваторов пока нет теоретически обоснованного решения данных вопросов. Это приводит к слишком большому выбору рекомендаций по формированию структуры ремонтного цикла, назначению различных межремонтных периодов для одной и той же машины. Например, по инструкции №2341ИЭ НКМЗ для экскаватора ЭШ 10/70А рекомендуется проводить технические уходы №1-5 с периодичностью: смена, декада, месяц, три и шесть месяцев. Ленгипрошахт рекомендует проводить ремонтный осмотр, текущие ремонты и капитальные ремонты соответственно с периодичностью 500, 5000, 12000, 24000 маш·час. НИИОГР предлагает планировать ремонтные работы в зависимости от объемов переработанной горной массы с учетом ряда коэффициентов, учитывающих условия эксплуатации экскаваторов.

Каждый нормативный документ устанавливает жестко регламентированные объемы работ при ремонтах экскаватора независимо от его технического состояния; объемы ремонтных работ возрастают по мере сложности ремонта. Например, при среднем ремонте необходимо дополнительно выполнять работы годового и месячного ремонтов. Независимо от условий работы деталей и сборочных единиц ремонты планируются по одному из критериев – календарному (или машинному) времени работы или переработанной горной массе.

Все это приводит к:

– недоиспользованию ресурса отдельных деталей, агрегатов и сборочных единиц экскаваторов;

– выполнению увеличенного объема разборочно-сборочных работ, не соответствующих техническому состоянию механизмов и устройств, и в то же время, увеличению вероятности быстрого изнашивания деталей, вызываемой приработкой из-за частой разборки и сборки;

– значительному времени нахождения экскаваторов в ремонте (20-25% от календарного фонда времени).

Система планово-предупредительных ремонтов во многих случаях может быть принята за основу при обслуживании несложных машин и механизмов, но для основного безрезервного оборудования ее применение нецелесообразно. Поэтому дальнейшее развитие системы ремонтов должно предусматривать: установление дифференцированных критериев оценки ресурса деталей, сборочных единиц и механизмов экскаваторов, учитывающих конкретные условия их работы; назначение конкретных сроков и объемов работ при ремонтах экскаваторов в зависимости от фактического технического состояния его деталей, сборочных единиц и механизмов.

Описание работы. Основная идея системы обслуживания и ремонта оборудования по фактическому техническому состоянию заключается в устранении отказов оборудования на этапе их зарождения [1]. Это становится возможным при применении методов распознавания технического состояния оборудования по совокупности его эксплуатационных характеристик, позволяющих выявить имеющиеся или развивающиеся дефекты для рационального планирования оптимальных сроков проведения ремонтных работ.

Техническая база обслуживания и ремонта оборудования по фактическому техническому состоянию основана на том, что существует взаимосвязь между возможными техническими неисправностями агрегата и диагностическими параметрами, которые можно контролировать. Диагностические признаки дефектов могут включать в себя парамет-

ры вибрации, технологические и режимные параметры (нагрузку, температуру, силу тока и др.), примеси в смазке и т.д.

Следовательно, проводя мониторинг различных параметров, характеризующих работу оборудования, можно вовремя обнаружить изменение технического состояния оборудования и провести техническое обслуживание только тогда, когда возникает реальная возможность выхода параметров оборудования за недопустимые пределы, что соответственно сигнализирует о невозможности дальнейшей работы объекта наблюдения.

Обслуживание по фактическому техническому состоянию имеет ряд преимуществ по сравнению с системой планово-предупредительного ремонтов:

– наличие постоянной информации о состоянии оборудования, охваченного мониторингом (возможность определения «проблемных» и «нормальных» узлов), позволяет планировать и выполнять обслуживание и ремонт без длительной и, зачастую, ненужной остановки, практически исключить аварийные отказы оборудования. Посредством внедрения системы обслуживания по фактическому техническому состоянию возникает возможность увеличения эффективности производства;

– прогнозирование и планирование объемов технического обслуживания и ремонта «проблемного» оборудования, снижение расходов по техническому обслуживанию за счет минимизации ненужного ремонта (увеличение межремонтного интервала) «нормального» оборудования. В результате проведения мониторинга технического состояния агрегатов и их обслуживания по фактическому техническому состоянию внеплановый объем работ, вызванный чрезвычайными ситуациями, обычно составляет менее 5% от общего объема работ, а время простоя оборудования составляет не более 3% от времени, затраченного на техническое обслуживание. Установлено, что типичные расходы на ремонт при аварийных отказах оборудования в среднем в 10 раз превышают стоимость ремонта при вовремя обнаруженном дефекте [2];

– обеспечение эффективности ремонта за счет послеремонтного обследования. Опыт показывает, что примерно от 2 до 10% новых деталей имеют дефекты изготовления, которые могут привести к быстрому выходу из строя замененной детали и отказу оборудования, а также вызвать повреждение других сопряженных нормально функционирующих деталей. Дефектная деталь или нарушенная технология сборки могут быть обнаружены в процессе испытаний после ремонта [3];

– эффективное планирование распределения обслуживающего персонала, запасных частей, инструмента и др.;

– возможность сокращения резервного оборудования;

– улучшение охраны труда и устранение нарушений экологических требований. Проведение ремонтных работ в чрезвычайной обстановке внезапного отказа и опасности внеплановой остановки производства приводит к повышению травматизма [4];

– эффективность переговоров с поставщиками оборудования относительно его гарантийного и послегарантийного ремонта, восстановления или замены. Регистрируемые диагностические параметры являются объективными данными при решении спорных вопросов о причинах входа механизма из работоспособного состояния.

Идея обслуживания оборудования по фактическому техническому состоянию заключается в обеспечении максимально возможного межремонтного периода эксплуатации оборудования за счет применения современных технологий обнаружения и подавления источников отказов [3].

Основой этой системы являются:

– идентификация и устранение источников повторяющихся проблем, приводящих к сокращению межремонтного интервала обслуживания оборудования;

– устранение или значительное снижение факторов, отрицательно влияющих на межремонтный интервал или срок эксплуатации оборудования;

– распознавание состояния нового или восстановленного оборудования с целью проверки отсутствия признаков дефектов, уменьшающих межремонтный интервал;

– увеличение межремонтного интервала и срока эксплуатации оборудования за счет проведения монтажных, наладочных и ремонтных работ в точном соответствии с техническими условиями и регламентом.

Методы неразрушающего контроля (НК), применяемые при техническом диагностировании одноковшовых экскаваторов, подразделяются на 2 основные группы:

1. Диагностические (функциональные) методы НК:
– тепловой контроль (ТК);
– вибродиагностический контроль (ВД);
– акустико-эмиссионный контроль (АЭ).
2. Дефектоскопические методы НК:
– визуально-измерительный контроль (ВИК);
– капиллярный контроль (ПВК);
– ультразвуковой контроль (УЗК);
– магнитный контроль (МК).

Все виды контроля и диагностики должны проводиться с использованием стандартных средств измерений, отвечающих требованиям Государственной системы обеспечения единства измерений, а также с использованием правил статистической обработки данных. Для исключения возможности попадания в эксплуатацию деталей и узлов с недопустимыми дефектами подозрительные места проверяются не менее трех раз.

Рассмотрим более подробно методы контроля, применяемые при экспертном обследовании одноковшовых карьерных экскаваторов.

При проведении экспертизы промышленной безопасности карьерных экскаваторов широко применяется метод визуально-измерительного контроля (ВИК), целью которого является выявление конструктивных изменений рабочего оборудования, поворотной платформы, нижней рамы, кузова и др. (формы, поверхностных дефектов в материале и соединениях деталей, образовавшихся трещин, коррозионных и эрозионных повреждений, деформаций, ослаблений соединений и т.п.), которые влияют или могут повлиять на безопасность эксплуатации экскаватора [5].

Одним из опасных дефектов, обнаруживаемых ВИК являются непровары в корне сварного шва, неполное заполнение разделки кромок. Основная опасность данного дефекта заключается в снижении прочности самого сварного соединения, создание дополнительных концентраторов напряжений, которые при неблагоприятных условиях развиваются в магистральные трещины. Скорость роста магистральной трещины тем выше, чем более глубоким является непровар.

Параллельно с визуально-измерительным контролем может выполняться диагностический контроль оборудования экскаватора.

Тепловой контроль (ТК) предназначен для оценки теплового состояния электрооборудования и токоведущих частей в зависимости от условий их работы и конструкции. Может осуществляться по нормированным температурам нагрева (превышениям температуры), избыточной температуре, коэффициенту дефектности, динамике изменения температуры во времени, с изменением нагрузки и т.п.

При тепловом контроле производится сравнение результатов измерений температуры в пределах фазы, между фазами, с заведомо исправными участками и т.п. Для проведения ТК применяются тепловизоры со спектральным диапазоном 8-12 μм и разрешающей способностью не меньше 0,1°С.

Однако, наиболее информативным параметром, несущим максимальную информацию о состоянии узла работающей машины или агрегата, являются механические колебания (вибрации) – упругие волны, распространяющиеся в сплошных средах. Информацию об изменении состояния объекта можно получать практически мгновенно. Именно эти

особенности предопределили применение, в качестве основного, вибрационного метода диагностики и контроля (ВД).

Измерение виброакустических характеристик на подшипниковых опорах механизмов позволяет распознать такие дефекты и повреждения как дисбаланс и расцентровку валов; повреждения подшипников скольжения и качения; повреждения зацеплений в зубчатых передачах; повреждения муфт; повреждения электрических машин [3].

Как известно, наиболее эффективным из методов вибродиагностики является постоянный мониторинг, позволяющий своевременно получать точную и достоверную информацию о состоянии оборудования. Особенно актуальной представляется эта задача для парка карьерных одноковшовых карьерных экскаваторов.

При обнаружении признаков наличия трещин в несущих металлоконструкциях или сварных швах экскаватора в этих местах проводится дополнительная проверка с помощью одного из дефектоскопических методов неразрушающего контроля:

– ультразвукового контроля (УЗК);

– контроля проникающими веществами (капиллярного контроля).

Ультразвуковой контроль, основанный на способности ультразвуковых колебаний распространяться в твердых веществах на большую глубину без заметного ослабления и отражаться от границы раздела двух веществ, является наиболее надежным и простым методом дефектоскопии ответственных деталей и сварных соединений экскаваторов. Различают 5 методов УЗК: теневой, резонансный, импедансный, свободных колебаний и эхометод. Самым передовым словом техники можно считать применение УЗ фазированных решеток.

Главным достоинством УЗ фазированных решеток можно считать возможность программного формирования диаграммы направленности ультразвукового блока, включая фокусировку, точку и угол ввода. Это позволяет, применяя один и тот же ПЭП, реализовать все схемы контроля, применяемые в многоэлементных системах с линейным сканированием. Так, например, дефектоскоп Х-32 [6] имеет наглядный интерфейс и удобен в работе, а многочисленные функции, реализованные в нем, облегчают и оптимизируют процесс контроля:

– наличие 32 активных элементов обеспечивает получение высокой пространственной разрешающей способности, что позволяет получать распределения и точные размеры дефектов;

– формирование ультразвуковых пучков под более чем 2 000 углами для получения максимальной зоны контроля и разрешающей способности;

– использование до 128 элементов позволяет осуществлять мультиплексирование (линейное сканирование);

– наличие режимов одномерной эхографии (А-сканирование), двухмерной эхографии (В-сканирование), линейного (L) и секторного (S) сканирования в реальном масштабе времени с анализом изображений во всех режимах сканирования.

Контроль проникающими веществами предназначен для определения мест расположения поверхностных дефектов с открытой полостью, их направления, протяженности, характера развития, как в основном, так и в наплавленном металле сварных соединений [7].

Работы по проведению акустико-эмиссионного контроля (АЭ-контроль) основных несущих элементов корпуса экскаватора направлены на выявление развивающихся дефектов в сварных швах, образовавшихся за длительный период эксплуатации за счет накопления напряжений в результате циклического режима эксплуатации.

Контролю подлежат следующие элементы конструкции: стрела, верхние откосы, передние и задние раскосы, поперечная балка, рама, стойка, кран-балка, ресивер воздуха для пневмосистемы.

Сварные швы основных несущих элементов конструкции экскаватора являются концентраторами напряжений, и эксплуатационные дефекты в них обусловлены различными дефектами сварки, носят случайный характер, как по времени возникновения, так и по местоположению [8].

Акустико-эмиссионный контроль, используемый в режиме реального времени на действующем оборудовании, позволяет выявить потенциально опасные места конструкции, момент образования развивающегося дефекта и его координаты практически без перерыва в работе, однозначно сказать о развитии дефекта.

При осмотре зоны повышенной активности было выявлено, что кластер зоны повреждения попадает на шарнирное соединение вертикальной стойки круглого сечения и балки нижнего пояса. При осмотре выявленной зоны обнаружено увеличение диаметра отверстия под палец в проушине, и следы от ударов и трения на самом пальце.

Таким образом, по результатам акустико-эмиссионного контроля основных элементов корпуса экскаватора могут быть обнаружены эксплуатационные дефекты, выявление которых традиционными методами контроля требует значительных как финансовых, так и трудовых затрат, при этом зачастую затруднительно дать ответ о необходимости и целесообразности проведения ремонтных работ.

Заключение. Сокращение удельных эксплуатационных расходов на техническое обслуживание при эксплуатации карьерного оборудования является, в настоящее время, одним из основных резервов повышения эффективности производства. Современные методы технического диагностирования, аппаратура для их реализации и программное обеспечение позволяют получить с очень высокой степенью надежности заключение о фактическом техническом состоянии карьерных экскаваторов.

Список литературы

1. Диагностирование технических устройств опасных производственных объектов./ А.Н. Смирнов, Б.Л. Герике, В.В. Муравьев // Новосибирск – Наука – 2003. – 320 с.

2. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. - М., 1996. – 208 с.

3. Диагностика горных машин и оборудования: Учеб. пособие./ Б.Л. Герике, П.Б. Герике, В.С. Квагинидзе, Г.И. Козовой, А.А. Хорешок // М.: ИПО «У Никитских ворот», 2012. – 400 с.

4. Квагинидзе В.С., Зарипова С.Н. Статистический анализ и прогнозирование производственного травматизма на угледобывающих предприятиях / ГИАБ. Приложение «Якутия». Изд-во МГГУ. – 2006. - №2. – С. 221-232.

5. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю, утверждена постановлением ГГТН РФ от 11.06.03, № 92.

6. Инновационные пути обеспечения работоспособности горных машин на основе мониторинга их технического состояния. / Б.Л. Герике, И.Л. Абрамов, П.Б. Герике // Кузбасс: Сборник научных трудов. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2008. - № 7. – С. 228 – 240.

7. Калиничин Н.П., Кулешова Г.П. Неразрушающий контроль. Капиллярный метод. - М., Изд-во НИИ интроскопии, 2002. – 101 с.

8. Оценка технического состояния несущих металлоконструкций шагающих экскаваторов по параметрам акустико-эмиссионного сигнала. /Б.Л. Герике, С.И. Протасов, А.В. Менчугин, П.В. Буянкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. - №5. – С. 25-30.

УДК 681.518.54

ПОСТРОЕНИЕ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

[1]д.т.н. Герике Б. Л., [1]чл.-корр. РАН, д.т.н. Клишин В. И., [2]д.т.н. Хорешок А. А.
1 - Институт угля СО РАН,
г. Кемерово, Россия
2 – Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

Аннотация. Предложена методика построения прогностической модели деградации электромеханического оборудования на основе выделенных информативных критериев. Методика апробирована при оценке дефектов проходческого комбайна по результатам вибродиагностики.

Ключевые слова: проходческий комбайн, дефекты, вибродиагностика, информативные критерии, прогнозирование, адаптивные методы.

Необходимость определения остаточного ресурса возникает при планировании периодичности контроля технического состояния оборудования, с целью обеспечения безопасности его эксплуатации, и продлении срока службы горно-шахтного оборудования при исчерпании назначенного ресурса.

Как правило, при оценке остаточного ресурса используются упрощенные подходы, не учитывающие случайный характер процессов деградации параметров технического состояния оборудования и не оценивающие достоверность прогноза.

Более точные методы прогнозирования остаточного ресурса безопасной эксплуатации основаны на определении закономерностей развития дефектов и повреждений, статистической обработке данных, экстраполяции трендов до предельно допустимых значений и вероятностной оценке значений показателей.

Методы оценки и прогнозирования ресурса оборудования делят на четыре группы: детерминированные, экспертные, физико-статистические и фактографические.

В детерминированных методах используют аналитические зависимости, связывающие время до отказа объекта с характеристиками эксплуатационных нагрузок и параметрами физико-химических процессов. Однако эти методы не учитывают случайный характер нагрузок и изменений в материалах.

Экспертные методы предполагают наличие квалифицированных специалистов разных профилей, проводящих экспертизу.

Физико-статистические методы при оценке ресурса учитывают как влияние разнообразных физико-химических факторов, способствующих развитию деградационных процессов, так и действующих эксплуатационных нагрузок.

Из известных фактографических методов, базирующихся на данных об объекте прогнозирования и его прошлом развитии, для прогнозирования остаточного ресурса оборудования в основном используются две группы методов:

– статистические, основанные на статистической обработке данных об отказах и ресурсах аналогов;

– экстраполяционные, основанные на анализе тренда параметров технического состояния диагностируемого оборудования.

Математическая модель оценки фактического состояния объекта строится на основе следующих условий и допущений [1, 2].

Имеющаяся на данный момент совокупность технических параметров (образующих пространство технических параметров) объекта зависит:

– от начального состояния объекта;

– от режима функционирования объекта;

– от истории условий эксплуатации;
– от режимов работы.

Под условиями эксплуатации в данном случае следует понимать рабочие нагрузки, систематические и случайные факторы внешних воздействий и т.п.

Под режимом работы объекта подразумевается развертка во времени набора технических и технологических процессов, каждый из которых характеризуется совокупностью рабочих параметров.

Изменение технических параметров объекта можно описать уравнением состояния, которое может задаваться эволюционным или дифференциальным уравнением – детерминированным или стохастическим в зависимости от входящих в правую часть величин

$$x(t) = F\{x(t_0),\ u_{[t_0,t]}, K\}. \quad (1)$$

О совокупности технических параметров объекта можно судить по результатам прямых или косвенных измерений диагностических характеристик, совокупность которых зависит от фактического состояния объекта на момент проведения измерений и условий, в которых они проводились. Уравнение измерений имеет в силу своей природы стохастический характер

$$y(t) = G[x(t), u(t)]. \quad (2)$$

По полученной совокупности измерений строится оценка истинных значений технических параметров объекта. Этот процесс можно описать детерминированным уравнением оценок

$$\hat{x}(t) = Hy(t). \quad (3)$$

Далее оценивается фактическое состояние объекта (вектор в пространстве состояний), о котором судят по совокупности оценок истинных значений технических параметров объекта, полученных в данных условиях [3, 4]

$$\Phi(t) = \Psi[\hat{x}(t), u(t)]. \quad (4)$$

В этом случае остаточный ресурс объекта рассчитывается по построенной математической модели и определяется совокупностью оценок технических параметров объекта, уравнением состояния, условиями эксплуатации, фактическим состоянием объекта и совокупностью предельных технических параметров

$$R(t) = W[t, \hat{x}(t), u(t), \bar{x}, \Phi(t)]. \quad (5)$$

В уравнениях (1) - (5) приняты следующие обозначения:

$x(t)$ – вектор технических (диагностических) параметров; $u(t)$ – условия эксплуатации объекта в текущий момент времени; $u_{[t_0,t]}$ – условия эксплуатации объекта на промежутке времени $[t_0, t]$; K – вектор, характеризующий режим работы объекта; $y(t)$ – результаты диагностических измерений; $\hat{x}(t)$ – оценка вектора технического состояния; $\Phi(t)$ – оценка фактического состояния объекта в момент времени t; $R(t)$ – оценка остаточного ресурса в момент времени t; $\bar{x}$ – предельные значения технических параметров.

При этом за t_0 в уравнении (1) должен приниматься момент начала эксплуатации объекта, а при определении остаточного ресурса – момент оценки технического состояния объекта.

Поскольку результаты диагностических измерений являются случайными величинами, то описанную модель нельзя считать полностью детерминированной, поэтому необходимо использовать статистические закономерности измерений и их стохастические связи с показателями фактического состояния объекта диагностики. По сути, оценка истинных значений технических параметров в соответствии с уравнением (3) является задачей распознавания состояния, в котором находится объект диагностики, для решения которой может быть применен вероятностный подход.

Используемые при диагностике данные, как правило «зашумлены», поэтому любые измеряемые параметры могут быть выражены суммой детерминированной и случайной компонент. Для достоверного прогнозирования остаточного ресурса сложных систем

необходимо построить и реализовать алгоритм полного разделения детерминированной и случайной составляющих.

При небольшом числе наблюдений ($N \leq 50$) корреляционную связь с доверительной вероятностью p_0 считают существенной (значимой), если соблюдается условие $t_p > t_\alpha$

$$t_p = r\sqrt{\frac{N-2}{1-r^2}} \quad , \tag{6}$$

где t_p – расчетная величина коэффициента Стьюдента, а t_α – табличное значение коэффициента Стьюдента для уровня значимости $\alpha = (1 - p_0)$ и числа степеней свободы $k = N - 2$.

Полученные значения коэффициентов линейной регрессии являются статистическими оценками и характеризуются своим доверительным интервалом, границы которого на практике определяются как доверительный интервал Δ и интервал предсказания δ [3]

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_1^N (\bar{K} - K_i)^2}{N-2} \times \left[1 + \frac{1}{N} + \frac{(t_i - \bar{t})^2}{\sum_1^N t_i^2 - N\bar{t}^2}\right]}; \tag{7}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_1^N (\bar{K} - K_i)^2}{N-2} \times \left[\frac{1}{N} + \frac{(t_i - \bar{t})^2}{\sum_1^N t_i^2 - N\bar{t}^2}\right]}. \tag{8}$$

В общем случае, задача прогнозирования остаточного ресурса диагностируемой системы по совокупности значений диагностического параметра, полученных на основании данных периодического мониторинга, сводится к экстраполяции найденного тренда и определению времени его пересечения с линиями, определяющими пороговое состояние.

В качестве прогностических параметров в работе предлагается использовать комплексный подход к оценке остаточного ресурса – на основании анализа механических примесей в работающем масле и величины механических колебаний корпуса редуктора режущей части [5].

Для анализа отобранных проб масла из редуктора режущей части проходческого комбайна СМ-130К применяется многоканальная фотометрическая система МФС-7, которая на основе спектрального анализа продуктов сжигания, определяет содержание:

– продуктов изнашивания деталей редуктора;

– содержание щелочных металлов (основы моюще-диспергирующих и других присадок к маслам);

– кремния – основы абразивных загрязнений масла.

Предельные значения содержания примесей в масле приведены в табл. 1.

Таблица 1

Предельные значения содержания примесей в масле

Механическая примесь	Содержание в масле редуктора режущей части проходческого комбайна СМ-130К, %
Железо	0,5
Медь	0,001
Хром	0,5
Кремний	0,5
Никель	0,5

Взятие проб масла выполнялось со следующей периодичностью:

– во время регулярных проверок при каждом ТО-1;

– перед сменой масла;

– более часто, если подозревается ненормативный износ.

На рис. 1 приведена совокупность точек, характеризующая связь между наработкой и изменением концентрации различных примесей. Как следует из анализа рисунка,

кривые имеют ряд локальных экстремумов, причиной возникновения которых в процессе эксплуатации является долив свежего масла в редуктор. Результаты эксперимента показали, что механические примеси в масле при работе проходческого комбайна накапливаются практически равномерно.

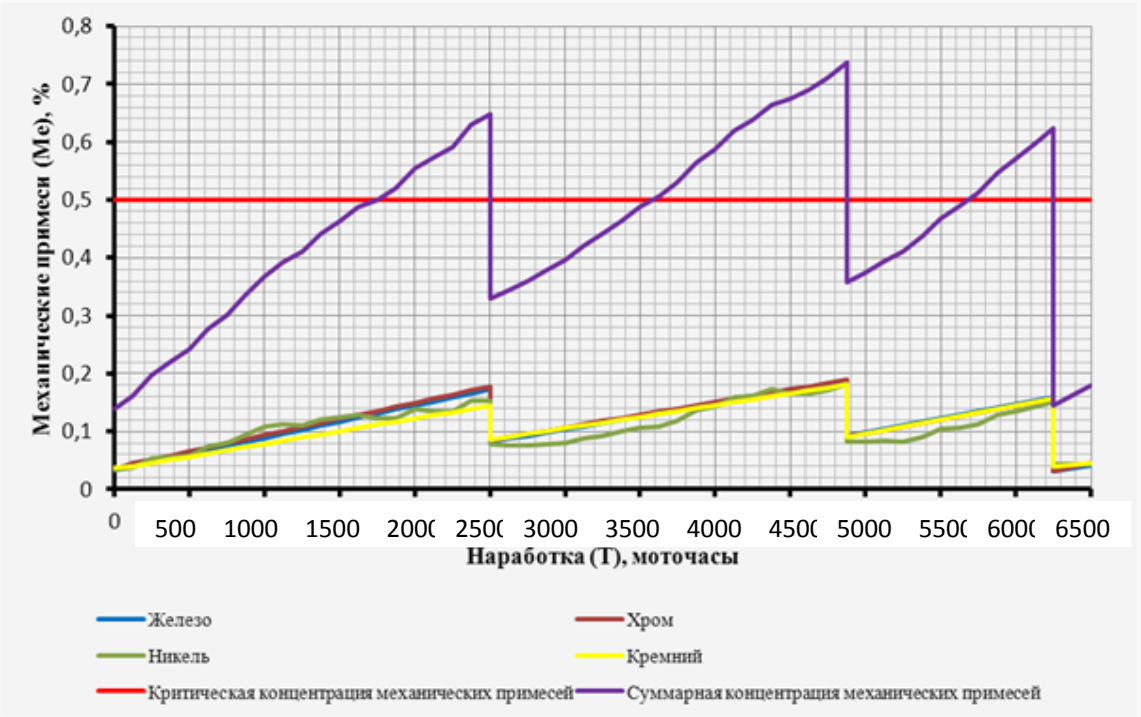


Рис. 1. Диаграмма содержания механических примесей в масле в зависимости от наработки

Наличие механических примесей в смазочном материале вызывает коррозию поверхности зубьев и их абразивный износ, а также способствует возникновению газовой или жидкостной эрозии.

Развитию абразивного износа способствует использование пластичной или загрязненной смазки, являющейся аккумулятором абразивных частиц. В дальнейшем у изношенных передач повышаются зазоры в зацеплении, усиливаются шум, вибрация, динамические перегрузки [6]; искажается форма зуба; уменьшаются размеры поперечного сечения, прочность зуба. Поэтому, для уточнения диагноза, на следующем этапе должно быть произведено уточняющее вибродиагностическое обследование работающего проходческого комбайна.

Для любой электромеханической системы, в том числе и приводов проходческих комбайнов избирательного действия, характерными являются три основных состояния [7, 8] – удовлетворительное, допустимое и недопустимое. Однако при системе плановых ремонтов, существующей в настоящее время на шахтах Кузбасса, гораздо важнее построить прогноз, дающий ответ на основной вопрос эксплуатации: проработает ли объект диагностики до ближайшего планового ремонта (до следующего момента диагностики) или произойдет его отказ.

Для построения эффективного краткосрочного прогноза ряд источников рекомендует обратиться к адаптивному краткосрочному прогнозированию [3, 9], в котором наиболее полно учитывается диагностическая информация, содержащаяся в последних измерениях. На основе этой информации корректируются параметры принятой модели, т.е. модель адаптируется к изменившимся условиям. Прогнозирование с помощью адаптивных методов дает хорошие результаты на относительно малых промежутках времени (как правило, на 1 – 2 интервала вперед), что, однако, полностью удовлетворяет возникающие при системе плановых ремонтов потребности.

Для построения достоверной прогностической модели деградации электромеханического оборудования необходимо выбрать информативные критерии, которые позволят оценить характерные неисправности, и, кроме того, определить границы допустимых значений выбранных критериев. Исходя из основных принципов вибрационной диагностики, в качестве информативного критерия оценки выбираем показатель амплитудного значения виброскорости на характерных частотах. Схема контрольных точек измерения вибрации приведена на рис. 2.

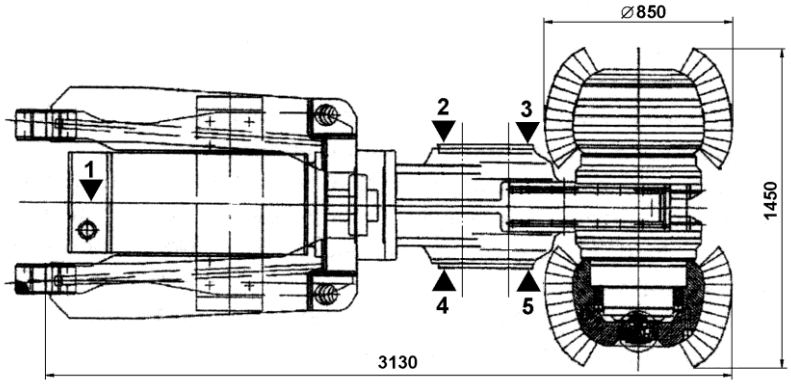


Рис. 2. Контрольные точки измерения вибрации на режущей части проходческого комбайна СМ-130

Рассмотрим построение прогноза на основе экспоненциальной экстраполяции диагносических результатов. Как отмечалось ранее [6], для прогноза на 1 интервал измерений требуется 6 измерений, а для прогноза на 10 интервалов должно быть не менее 16 измерений.

На рис. 3*а* приведены результаты контроля виброскорости на подшипниковых узлах электродвигателя привода резания проходческого комбайна СМ-130 в зависимости от его наработки после ремонта, и линия тренда, построенная по результатам долгосрочного прогнозирования, а также границы переходов технического состояния из удовлетворительного в допустимое и из допустимого – в недопустимое. Как нетрудно видеть, за 7 тысяч моточасов работы техническое состояние электропривода практически исчерпано и требуется ремонт режущей части.

На рис. 3*б* приведены результаты диагностического обследования редуктора резания проходческого комбайна СМ-130, из анализа которых следует, что техническое состояние редуктора резания к концу периода наблюдений стало недопустимым, что требует проведения ремонта. Сравнение виброактивности опор электродвигателя и редуктора показывает, что источником повышенной вибрации является редуктор.

а) б)

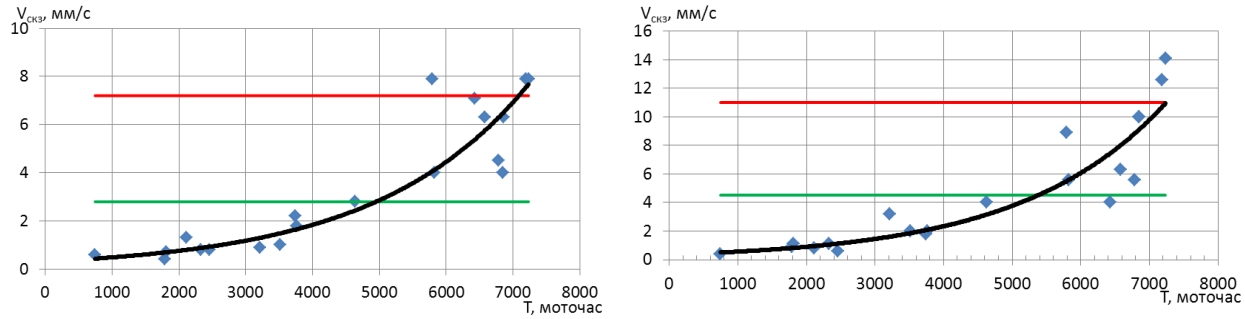


Рис. 3. Результаты виброобследования опорных подшипников электродвигателя (а) и редуктора привода резания (б) проходческого комбайна СМ-130

Анализ спектров нагруженности опорных узлов редуктора резания показал, что наиболее вероятным дефектом является нарушение зубозацепления в волновой переда-

че, что вызывает повышенную вибрацию опорных подшипников (рис. 4). Последующий визуальный осмотр и дефектация редуктора резания показали правильность поставленного диагноза (рис. 5).

Рис. 4. Спектр сигнала вибрации редуктора резания с развитым дефектом контактирующих поверхностей зубчатых колес

Рис. 5. Дефекты зубчатой передачи в волновом редукторе резания комбайна СМ-130

Таким образом, показано, что разработанная прогностическая модель, основанная на статистических результатах вибродиагностики, позволяет с 95% доверительной вероятностью прогнозировать момент перехода в неисправное состояние, грозящее аварийным отказом узла или агрегата и осуществлять эффективное планирование ремонтных работ, предупреждающих возникновение аварийных ситуаций.

Список литературы

1. Клюев В.В. Подходы к построению систем оценки остаточного ресурса технических объектов./ В.В. Клюев, А.С. Фурсов, М.В. Филинов. // Контроль. Диагностика. № 3. 2007, С. 18-23.

2. Безопасность России. Экономическая безопасность: вопросы реализации государственной стратегии. М.: МГФ «Знание», 1998. – 384 с.

3. Герике, Б.Л. Математическая модель оценки фактического состояния бурового станка / Б.Л. Герике, П.Б. Герике, П.В. Ещеркин // Уголь, №2. – 2010. – С. 45-46.

4. Проников А.С. Надежность машин. – М. – Машиностроение. 1978. – 390 с.

5. Хорешок А.А. Метод комплексного диагностирования редукторов мотор-колес карьерных автосамосвалов / А.А. Хорешок, А.В. Кудреватых // Горная промышленность. № 5. 2010, С. 60-66.

6. Диагностика горных машин и оборудования: Учеб. пособие / Б.Л. Герике, П.Б. Герике, В.С. Квагинидзе, Г.И. Козовой, А.А. Хорешок // М.: ИПО «У Никитских ворот», 2012. – 400 с.

7. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин: - 2-е изд. исправл. - М.: Машиностроение, 2000 - 344 с.

8. Попков В.И. Виброакустическая диагностика в судостроении / В.И. Попков, Э.Л. Мышинский, О.И. Попков : 2-е изд., перер. и доп. // Л.: Судостроение, 1989. – 253 с.

9. Сушко А.Е. Разработка математической модели оптимального технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования // Науч. сессия МИФИ-2007: Сб. науч. тр. В 17 т. М.: МИФИД007. Т.2. - С.153-154.

УДК 622.831

МОНИТОРИНГ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МАРКО «ЦИФРОВАЯ ШАХТА»

М. Ройтер, докт. М. Крах, К. Майрхофер, У. Кислинг, д.т.н. Ю. Векслер
Компания Марко, Системный анализ и разработки ГМБХ,
г. Дахау, Германия

Аннотация. Рассматривается метод прогноза горных ударов в очистных забоях угольных шахт, основанный на установлении перехода массива горных пород в неустойчивое состояние. Система управления марко «Цифровая шахта» обеспечивает необходимую для контроля непрерывную запись давлений в стойках секций механизированной крепи. Приводятся анализ происшедших горных ударов на шахтах Германии и Китая и примеры текущего контроля геомеханического состояния геомассива. Предлагается метод управления основной кровлей пласта при возникновении потенциально опасной ситуации.

Ключевые слова: конвергенция, горные удары, прогноз, зародыши разрушения, основная кровля

Введение

Безопасная разработка угольных пластов, склонных к динамическим проявлениям горного давления, требует своевременного распознавания опасных ситуаций. Горные удары в очистных забоях могут происходить при приближении забоя к некоторым аномалиям в массиве горных пород, например, участкам с повышенным горным давлением или структурными геологическими неоднородностями в массиве. При приближении изменяются деформации пласта и вмещающих пород.

Опыт разработки удароопасных пластов показывает, что горные удары происходят в случае перехода части массива горных пород вокруг выработок из устойчивого в неустойчивое состояние. Поскольку деформации пород происходят во времени, это означает, что переход в неустойчивое состояние связан с ускорением ползучести угля и пород.

В работе [1] приводятся результаты наблюдений за деформациями горных выработок перед горными ударами на шахтах Германии. Из приведенных результатов можно заключить, что ускорения ползучести пород, приводящие к дестабилизации состояния массива, происходили от 35 до 4 дней перед горным ударом. В работе [2] исследована сейсмоакустическая активность массива в окрестности лавы. Рисунок в работе показывает, что источники акустической эмиссии (зоны активного трещинообразования) располагались ниже места горного удара в выемочном столбе.

Предлагаемый прогноз вероятности горных ударов в выемочных столбах может основывается на анализе ползучести пород в окрестности очистного забоя. Программа анализа конвергенции в лаве с помощью системы электрогидравлического управления марко «Цифровая шахта» позволяет контролировать стадии ползучести и неустойчивость массива посредством непрерывных измерений давления в стойках крепи и их последующем анализе.

Установленный на каждой секции механизированной крепи высококачественный взрывозащищенный программируемый прибор управления pm32 считывает и анализирует показания датчиков давления в стойках крепи. Эти данные передаются на взрывоза-

щищенный промышленный компьютер в штреке – подземную Централь. Здесь производятся визуализация технологических процессов в реальном времени и передача данных в центральную диспетчерскую на земной поверхности для оценки геомеханического состояния геомассива на данный момент времени по программам геомеханического мониторинга marco.

Прогноз удароопасного состояния в геомассиве

Концепция прогноза удароопасности в геомассиве вблизи лавы состоит в установлении перехода пород в нестабильное состояние, фиксируемое одновременно в нескольких соседних секциях крепи.

Устойчивость состояния массива горных пород определяется программой анализа конвергенции пород в очистном забое [3]. Из решения плоской задачи теории ползучести с большими деформациями по программе метода конечных элементов «marcofem» для лавы устанавливается связь между конвергенцией Δh пород в забое и просадок стоек крепи, которые приводятся в уравнении (1). С другой стороны, деформация стойки крепи как механической системы определяется на основе уравнения Больцмана-Вольтерра в уравнении (2). Измерения давления в стойках крепи при работе механизированных комплексов дают основания для такого описания их работы по зависимостям вида:

$$\Delta h = A \cdot \sigma(t) + B \cdot t^{C}; \quad (1)$$

$$\Delta h = \frac{M}{E} \cdot \left\{ \sigma(t) + \int_0^t \sigma(\tau) \cdot \delta \cdot (t-\tau)^{-\alpha} \, d\tau \right\}, \quad (2)$$

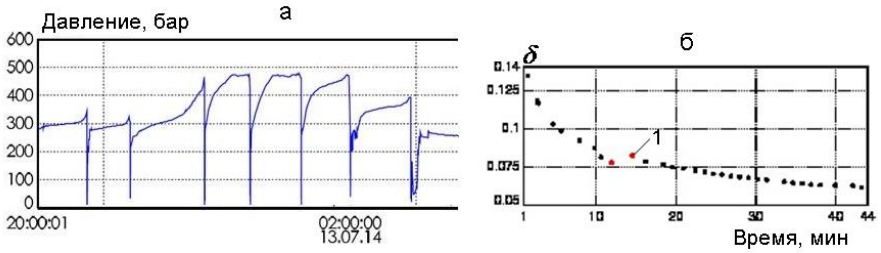
где $\sigma(t)$ – давление в стойках крепи; M - мощность пласта; A, B, C – параметры, полученные из решения задачи; E – модуль упругости стойки крепи, определяемый по ее нагрузочной характеристике; δ - параметр ядра ползучести типа Абеля; τ – текущее время.

Из уравнений (1) и (2) определяется параметр δ, характеризующий скорость ползучести, которая в устойчивом состоянии массива со временем уменьшается.

На рис. 1 показаны исходные графики измерений давлений в стойках секции механизированной крепи и результаты расчета параметра ползучести (прогноз).

Цикличные изменения давления в стойках в одной из лав проводились в течение 7 часов 13.07.2014. Уменьшающееся во времени значение параметра δ (рис.1б) отражает естественный процесс затухания ползучести. Увеличение скорости ползучести в момент времени, указанный цифрой 1 как положительное отклонение параметра δ, свидетельствует о переходе в неустойчивость массива пород вокруг секции крепи.

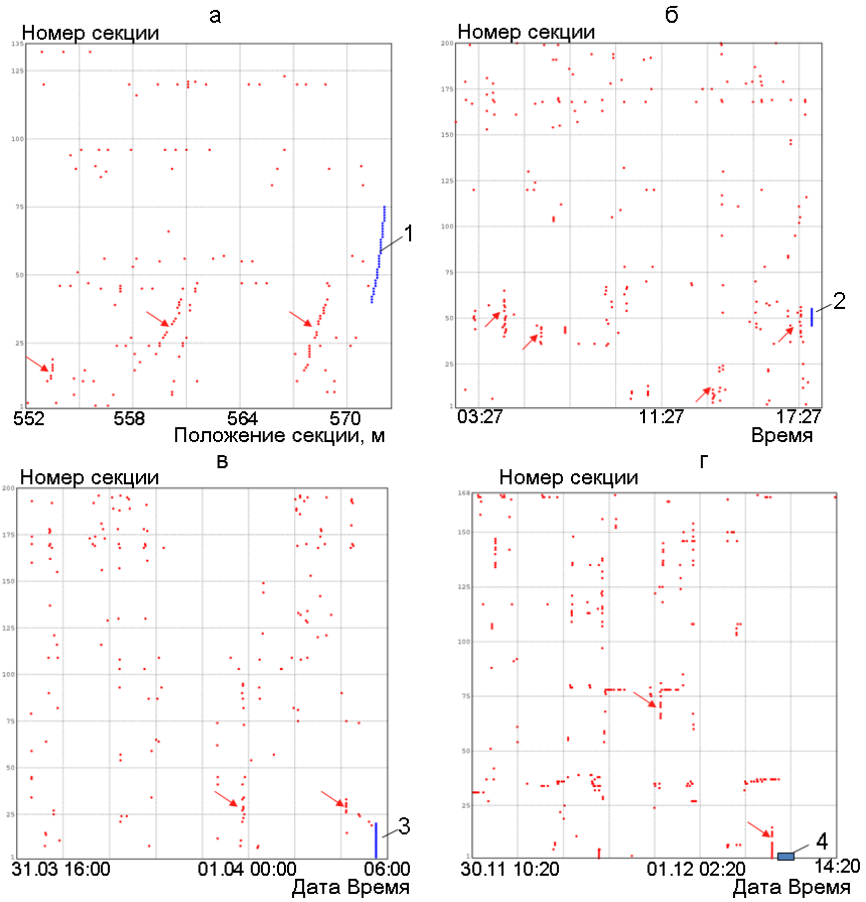
Необходимым критерием удароопасности может быть одновременный переход в неустойчивость, фиксируемый концентрацией положительных отклонений параметра δ вдоль нескольких соседних секций крепи.



1 – момент ускорения ползучести (шахта „kmz1“», Россия, секция 158, 09.02.2014)

Рис. 1. Расчет параметра прогноза: а – изменения давления в стойке секции крепи во времени; б - изменение параметра ползучести δ со временем:

На рис.2 приведены результаты ретроспективного анализа прогноза удароопасности в некоторых выемочных столбах на шахте в Германии.



1, 2, 3 – номера поврежденных секций крепи, 4 – поврежденные рамы крепи в штреке

Рис. 2. Предвестники горных ударов : а - горный удар 30.01.1996; б - горный удар 05.03.1998; в - горный удар 01.04.1998; г - выброс угля в штреке 01.12.2004; стрелками указаны предвестники горных ударов

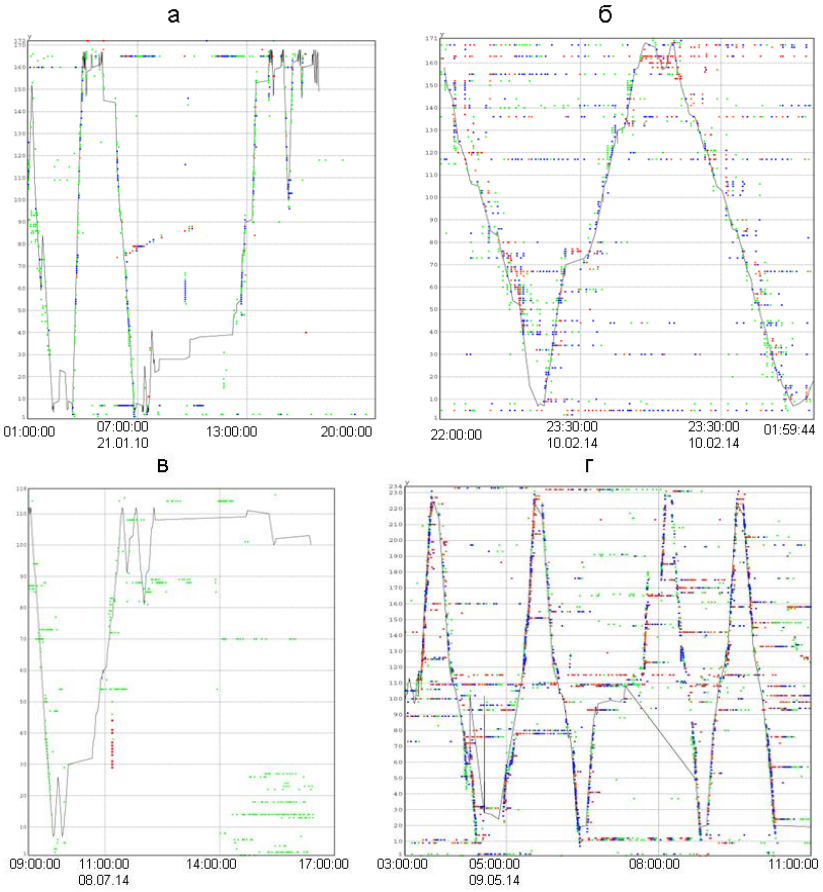
Точки на рис. 2 обозначают номера секций крепи с ускорением ползучести. Эти показатели неустойчивости либо рассеяны во времени по длине лавы, либо концентрируются одновременно вдоль нескольких секций крепи. Их концентрация указывает на неслучайную нестабильность этой части лавы. Рассмотренные горные удары происходили всегда после возникновения таких концентраций. Проявление горного удара - поврежденные секции крепи после нескольких их предвестников - отражает приведенные в работах [1] и [2] результаты анализа горных ударов.

Таким образом, возникновение состояния неустойчивости у нескольких рядом стоящих секций крепи может раасматриваться как необходимый критерий прогноза удароопасности. Корректность прогноза вероятности горных ударов подтверждается ретроспективным анализом фактических событий на шахтах в Германии и в Китае.

На рис. 3 приведены примеры текущего контроля геомеханического состояния геомассива в окрестности лав для некоторых конкретных моментов времени.

Точки на рис. 3 обозначают номера секций крепи с положительными отклонениями параметра δ, превышающими соответственно 2%, 5% и 10%. Такие отклонения возникают либо сразу при работе комбайна, либо до или после его прохода. Можно предположить, что более опасными являются последние, т.к. они происходят вследствие ползучести пород и характеризуют их устойчивость.

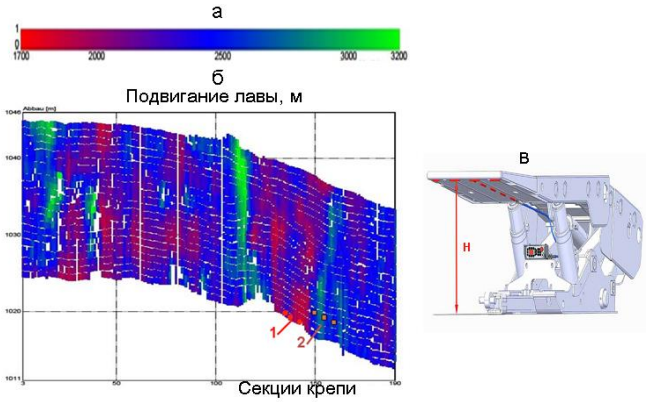
Предвестники удароопасности возникали у секций 50 – 70 (рис.3а); последовательно у секций 140 – 150, 50 – 70, 72 – 78, 100 -110, 9- 17 (рис.3б); 28 – 45 (рис.3в, более 10%); 120 – 180, 175 – 230, 120 – 230, 10 – 85 (рис 3г). Сообщений о динамических проявлениях горного давления в этот период времени не поступало.



ось x – дата и время, ось y – номера секций крепи; сплошные линии – работа комбайна

Рис. 3. Примеры текущего контроля геомеханического состояния лавы:
а - шахта «auv_10», Германия, 2010; б – шахта «kmz1», Россия, 2014; в – шахта «til2», Китай, 2014; г - шахта «mue1», США, 2014;

В работе [1] показано, что уменьшение мощности пласта повышает уровень удароопасности. В системе «Цифровой шахты» marco предусмотрено измерение высоты очистного забоя в режиме реального времени. Пример таких измерений в одной из лав приведен на рис. 4.



1 и 2 – большая и меньшая вероятности прогноза опасности; H – высота забоя

Рис. 4. Измерение высоты секций крепи: а – шкала высоты лавы, мм; б – изменение высоты лавы по мере ее подвигания; в – схема измерения высоты крепи;

В качестве примера в рисунке нанесены два предвестника опасности на участках с разной высотой лавы. Меньшая высота секции крепи на участке лавы 1 по сравнению с участком лавы 2 повышает вероятность горного удара.

Таким образом, измерение высоты лавы может дополнить прогноз удароопасности.

Структурный анализ нагружения пород кровли

Разработана программа структурного анализа нагружения пород кровли, позволяющая оценивать величину ее зависания в выработанном пространстве лавы. В основе программы - зондирование массива работающими комбайном или стругом. Установленные в секциях крепи датчики давления воспринимают отклик пласта на воздействие на него рабочим органом выемочной машины.

Путем статистической обработки данных от датчиков давления определяется некоторый показатель (sds-параметр), характеризующий реакцию массива на работу добычной машины в реальном масштабе времени и позволяющий оценить структуру нагружения кровли в лаве и в выработанном пространстве.

На рис. 5 приведены экспериментальные данные о зависимости между давлениями в стойках крепи и параметром sds для каждой секции крепи

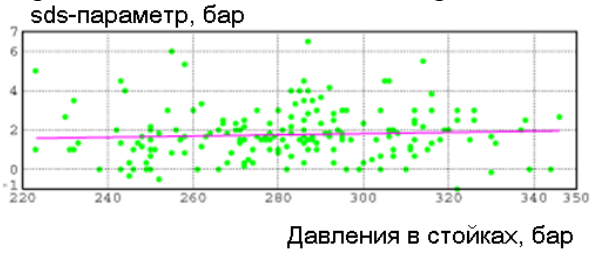


Рис. 5. Зависимость между давлением в гидростойках и параметром sds

Визуальная оценка данных и линейная корреляция между ними показывают, что параметры sds практически не зависят от давлений в стойках крепи. Коэффициеты корреляции, рассчитанные для нескольких таких зависимостей в рзличные моменты времени, изменялись от 0,02 до 0,1. Это позволяет рассматривать параметр sds как независимый показатель состояния лавы.

Сравнение распределения этого параметра с данными из плана горных выработок показало, что в зонах влияния целиков этот параметр существенно больше. Это позволяет утверждать, что он отражает уровень горного давления.

На рис. 6 приведены данные о распределении параметра sds в комбайновой лаве одной из шахт.

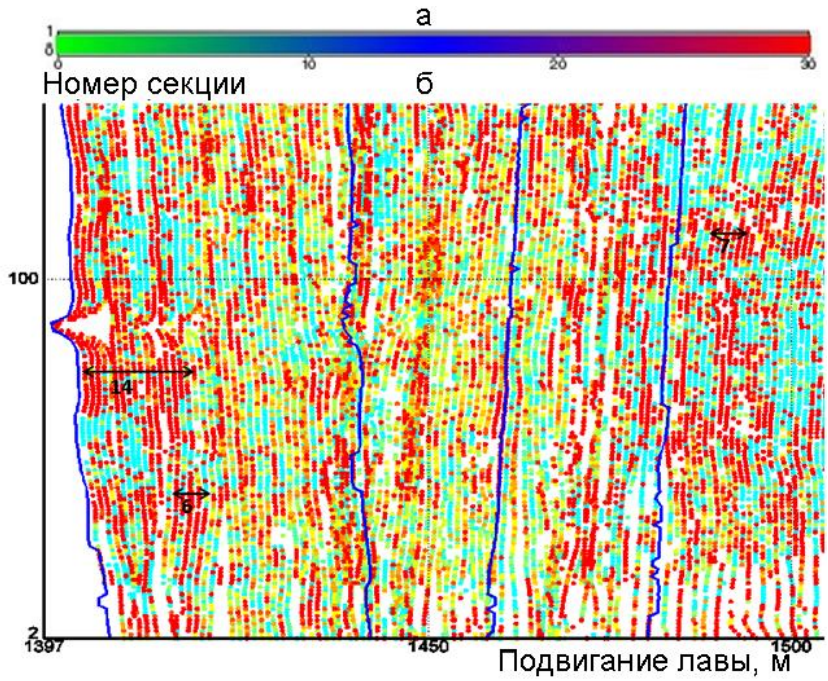


Рис. 6. Отображение структуры нагружения кровли в выемочном столбе:
а – шкала давления в стойках крепи; б - параметры sds в комбайновой лаве

Параметры sds рассчитываются на каждом ходе комбайна. По мере подвигания забоя они перемещаются в выработанное пространство. По размерам участков с повышенным давлением можно судить о длине зависающей консоли кровли. На рис. 6 они указаны стрелками.

Структурный анализ нагружения кровли повышает надежность прогноза горных ударов.

Управление состоянием основной кровли

После установления потенциально опасного состояния массива в какой-либо части лавы возможно проведение профилактических мероприятий по предупреждению динамических проявлений горного давления.

В частности, предлагаются способы для предотвращения зависаний основной кровли на больших площаях [4]. Одним из них является образование в основной кровле зародышей разрушения, способствующих ее дальнейшему обрушению. Этого можно достичь путем кратковременного уменьшения начального распора секций крепи. Пример такого способа приводится на рис. 7.

Функции системы управления лавой «Цифровая шахта» marco и специальные клапаны фирмы, позволяющие снижать давление в стойках крепи в любое время их работы, обеспечивают реализацию предложенного ниже варианта инициирования разупрочнения кровли.

Расчеты геомеханического состояния геомассива в окрестности лавы по программе, „marcofem“, показывают, что уменьшение начального распора крепи и выдержка в течение 4 – 5 минут (рис. 7д) приводит к возникновению в кровле в выработанном пространстве «зародышей разрушения» в форме трещин или небольших вывалов. Такой вывал в кровле показан на рис. 7б. При дальнейшем подвигании лавы на 4 метра от этого зародыша продолжается рост трещины (рис. 7г). При отсутствии зародыша разрушения при удалении лавы на 4 метра разрушения в кровле не происходит.

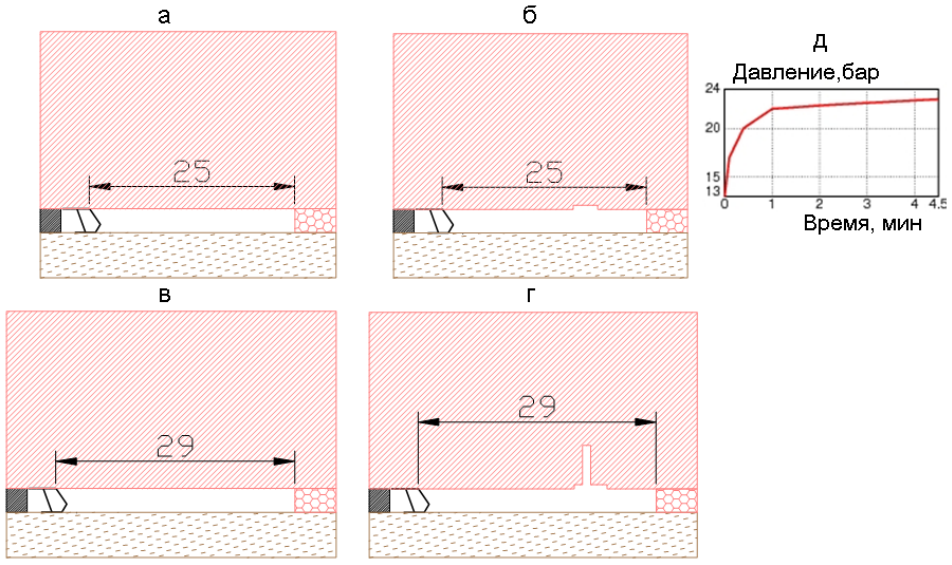


Рис. 7. Управление состоянием основнойкровли: а, в – схемы без предварительного разупрочнения; б – зародыш разрушения в кровле; в – подвигание лавы на 4 метра; г – развитие трещины от зародыша разрушения; д - кратковременное снижение начального распора крепи

Заключение

Программа геомеханического мониторинга горного давления в системе управления марко «Цифровая шахта» позволяет своевременно распознавать потенциальные опасности динамических проявлений горного давления.

Геомеханический мониторинг проводится в каждой секции крепи вдоль лавы непрерывно во времени и без остановки рабочего процесса.

Вероятность прогноза повышается при появлении предвестников вне зоны работы комбайна или струга и на участках пласта с меньшей мощностью.

Предложен способ управления кровлей путем создания в ней зародышей разрушения.

Список литературы

1. Bräuner G. Gebirgsschläge und ihre Verhütung in Ruhrbergbau.Verlag Glückauf GmbH. Essen. 1992.

2. Haramy K.Y., McDonnell J.P. Causes and Control of Coal Mine Bumps. Bureau of Mines. RI 9225. Report on Investigations/1988.

3. Kurfürst W., Reuter M., Scheerer H-J., Veksler Ju. Online Data Analysis for a Prognosis of Rock Burst in Fully Automatic Longwalls. Zweites Internationales Kolloquium "Hochleistungs-Strebbetriebe High-Performance Longwall Operations". — Aachen: RWTH 13. und 14.2000.

4. Ройтер М., Векслер Ю.А. Инициирование разупрочнения труднообрушаемой кровли в автоматизированных лавах // Уголь. — 2012. — № 10.

УДК 502.76;681.3

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ СИТЕМ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

[1]к.т.н. Вартанов А.З., [2]д.э.н. Петров И.В., [1]д.т.н. Федаш А.В.
1 - Институт проблем комплексного освоения недр РАН, г. Москва, Россия
2 - Центральный научно-исследовательский институт экономики и научно-технической информации угольной промышленности, г. Москва, Россия

Аннотация. Проанализированы способы и формы технологического воспроизводства шахтного фонда с учетом влияния рыночных факторов. Приведены и обоснованы причины необходимости изменения проектной документации, а также определены основные проектные инновационные решения и установлены отклонения от нормативных документов, регламентирующих проектирование угледобывающих предприятий.

Ключевые слова: геотехнические системы, запасы недр, проектирование, строительство шахт, уголь, управление инновациями.

Минерально-сырьевая база добывающей компании является средой осуществления хозяйственной деятельности (объектом риска) и одновременно фактором риска или горным риском, так как недропользователь не обладает всей полнотой знаний о строении недр, в пределах которых он осуществляет свою деятельность [1]. Снижение этих рисков возможно на основе детального изучения состояния горного массива и проектирования предприятий на основе достоверной горно-геологической информации

Система проектирования угледобывающих предприятий на разных стадиях развития угольной промышленности и сопровождающая нормативно-методическая документация постоянно меняются. В качестве нормативно-методической базы для проектирования угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий в период до реструктуризации угольной отрасли использовались «Нормы технологического проектирования...»

(ВНТП 1-92 – 4.92), Эталоны ТЭО и СНиПы. После реструктуризации отрасли методическое значение этих документов частично утрачено, ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность», официальным издателем и распространителем нормативных актов Ростехнадзора, изданы комплекты новых нормативных правил и инструкций [2].

Исследование области проектирования горнодобывающих и перерабатывающих предприятий угольной промышленности позволило выявить значительные несоответствия и разночтения в законодательных актах и документации, регламентирующих развитие угледобывающего производства и проектирование шахт. Это требует поиска путей совершенствования проектной деятельности [3].

При этом проектная деятельность должна охватывать все этапы жизненного цикла предприятия. В настоящее время традиционные формы развития шахтного фонда: новое строительство, реконструкция, расширение, поддержание мощности, техническое перевооружение, закрытие и консервация предприятия существенно зависят от рыночных факторов, а стадии, этапы и методы проектирования отличаются от применяемых до реструктуризации угольной отрасли, так как в современных условиях требуют учета не только горно-геологических условий, но и экологических и социальных последствий [4].

Выделяются следующие способы и формы технологического воспроизводства шахтного карьерного фонда (фазы и этапы жизненного цикла горнопромышленного предприятия), адаптивные к рыночным условиям:

маркетинговое обоснование строительства предприятия;

новое строительство малых угледобывающих предприятий с производственной мощностью до одного миллиона тонн угля в год и сроком службы 5-15 лет;

новое строительство крупных шахт по схеме «шахта - пласт» с производственной мощностью до 3 млн.т в год и сроком службы более 15 лет;

новое строительство гидрошахт и гидроучастков с подземным обезвоживанием горной массы;

новое строительство угледобывающих предприятий на основе открыто-подземной технологии разработки угольных месторождений с использованием инфраструктуры угольных разрезов [5];

освоение проектной мощности горнопромышленного предприятия;

этап стабильного функционирования горнопромышленного предприятия;

моральное обновление технологии и технических средств горнопромышленного предприятия;

доработка запасов угля на действующих горизонтах нерентабельных горнопромышленных предприятий по малозатратным технологиям;

консервация горнопромышленного предприятия;

ликвидация горнопромышленного предприятия;

регенерация законсервированных или ликвидированных горнопромышленных предприятий;

регулирование мощности рентабельных горнопромышленных предприятий.

На всех этих этапах требуется оценка качества проектов. Традиционный методический подход к оценке качества проектов базируется на результатах сравнения следующих основных проектных и фактических показателей:

проектная и производственная мощность предприятия;

- нагрузки на очистной забой;
- объём проведения подготовительных выработок на 1000 т добычи;
- потери угля;
- производительность труда;
- стоимость строительства;
- рентабельность производства.

По результатам сравнительного анализа проектных и фактических показателей установлено, что фактические показатели действующих угледобывающих предприятий

существенно изменяются даже в течение года. Например, проектная мощность корректируется в каждом дополнении или корректировке проекта, то есть изменяется циклически. Поэтому традиционный метод оценки качества проектов в современных условиях реализовать не только трудно, но и достоверность оценки будет весьма низкая.

Не лишён недостатков и интегральный метод оценки эффективности и качества проектов, базирующийся на использовании ретроспективной информации. Глобальные кризисные спады и подъёмы экономики существенно искажают реальную ситуацию и содержание матрицы показателей и критериев технико-экономического качества. В современных рыночных условиях попытки сравнения проектных и фактических показателей, полученных через 5-10 лет, учитывая влияние циклических потребностей угольного рынка, будут не корректными. Одним из недостатков интегрального метода оценки эффективности и качества проектов является отсутствие оценок качества проектов по уровню промышленной, экологической и социальной безопасности.

Заслуживает внимание использование сравнения проектных показателей с эталонным проектом с безразмерной оценкой в относительной форме безразмерных эквивалентов [6].

Для реализации выявленных нетрадиционных способов и форм жизненного цикла предприятий возникла необходимость выделения новых стадий проектирования предприятий и представления проектной продукции в виде дополнений, корректировок к проектам строительства. Это связано с:

- применением импортного оборудования и технологий, не регламентированных в проектах строительства и реконструкции шахт и «Нормах технологического проектирования...»;
- низким уровнем адаптации импортных технологий и технических устройств к инфраструктуре действующих угледобывающих предприятий России;
- изменениями требований рынка к количеству и качеству угольной продукции;
- появлением новых нормативных документов;
- необходимостью ликвидации последствий аварий и инцидентов.

Проведенная оценка влияния горно-геологических, горнотехнических, технологических факторов, а также параметров горных предприятий на количество корректировок проектной документации шахт и разрезов Кузбасса позволила выявить некоторые косвенные причины изменения проектной документации.

Во-первых, установлено, что после аварии на предприятии по предписаниям государственной комиссии по расследованию несчастных случаев устаревшая проектная документация приводится в соответствие с требованиями новых нормативных документов. Например, после возникновения эндогенных пожаров на шахтах «Томская», «Кушеяковская» и др. в Кузбассе.

Во-вторых, при изменении требований угольного рынка по количеству и качеству угольной продукции возникает необходимость консервации горных работ на одних пластах и развития горных работ на пластах с качеством угля, востребованных рынком. Например, неоднократно консервировались горные выработки на Малиновском районе шахты «Алардинская», на шахтах «Грамотеинская», «Тагарышская» и др. в Кузбассе.

Третьей причиной необходимости изменения проектной документации является недостаточная достоверность разведки угольных месторождений. Например на строящейся в Кузбассе шахте «Ерунаковская VIII» из-за вскрытия выработками непереходимых очистными механизированными комплексами геологических дизъюнктивных нарушений в проектах три раза менялась планировка шахтного поля.

По результатам анализа соответствия проектной документации угледобывающих предприятий требованиям нормативных документов Ростехнадзора, государственным нормам технологического проектирования, правилам, стандартам, действующих правилам безопасности установлены следующие отклонения проектных решений от нормативных требований:

• в проектах не проводится оптимизация количественных и качественных параметров проектируемых предприятий;

• коэффициент извлечения балансовых запасов в некоторых проектах шахт и разрезов не превышает 0,5, что подтверждает низкий уровень проектных решений в части соответствия требованиям Закона РФ «О недрах» и «Правил охраны недр» (ПБ 07-601-03);

• в проектной документации строительства шахт или разрезов, как правило, отсутствуют проектные решения отработки угольных целиков различного назначения, участков пластов неправильной геометрической формы, неблагоприятных для отработки длинными комплексно-механизированными забоями;

• в проектах строительства и реконструкции шахт для отработки пологих и наклонных угольных пластов не рассматриваются альтернативные варианты вскрытия, подготовки, системы разработки, транспорта, проветривания. Проектные решения принимаются в соответствии с техническим заданием на разработку проекта или по опыту отработки угольных пластов на шахтах-аналогах, то есть оптимизация параметров и характеристик проектируемых горнопромышленных предприятий не проводится;

• для принятия проектных решений в специфических условиях шахт и разрезов, для которых не регламентированы способы и средства безопасной и эффективной отработки угольных пластов, проектные организации используют положительные заключения или рекомендации специализированных организаций, то есть используется подчас субъективный экспертный подход;

• предельная нагрузка на очистной забой принимается в проектах без учёта неравномерности процессов выемки угля, газоотдачи пласта при его разрушении, динамических осадок пород кровли, прорывов метана из пластов-спутников и выработанного пространства. Реализация научно не обоснованных проектных решений по предельной нагрузке на очистной забой при сочетании негативных технологических, газодинамических, геомеханических и организационных факторов приводит к взрывам метана и пыли и, как следствие, к групповым несчастным случаям, что подтверждается крупными авариями на шахтах «Зыряновская», «Ульяновская», «Тайжина», «Юбилейная» в Кузбассе;

• в проекты строительства и реконструкции шахт, как правило, не включаются проектные решения по оперативному мониторингу и прогнозу предаварийных ситуаций, что существенно повышает риск возникновения аварий в виду стохастического влияния природной неравномерности структуры углепородного массива, неуправляемого нештатного поведения персонала и других причин;

• в связи с увеличением длины выемочных полей возникла проблема безопасного выхода людей из очистных и подготовительных забоев в выработки со свежей струёй воздуха при возникновении подземного пожара, так как время выхода людей превышает время защитного действия изолирующих самоспасателей;

• учёные и практики пока не пришли к единому мнению по поводу эффективности комбинированного проветривания выработок выемочного участка с изолированным отводом метановоздушной смеси через выработанное пространство при отработке угольных пластов склонных к самовозгоранию. Поэтому принятые проектные решения по строительству и реконструкции высоко газоносных шахт, разрабатывающих угольные пласты, склонные к самовозгоранию, научно не обоснованы и на практике приводят к эндогенным пожарам в выработанном пространстве;

• структура проектов и принятые в них проектные решения не всегда соответствуют требованиям действующих нормативных документов: иногда используются при разработке проектной документации утратившие силу правила, методические рекомендации, инструкции, алгоритмы и компьютерные программы;

• в проектную документацию не всегда включаются документы, подтверждающие соответствие технических устройств требованиям промышленной безопасности, то

есть нарушается соответствие проектных решений требованиям статьи 7 Закона РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;

- во многих проектах не проводится идентификация опасностей и не разрабатываются конкретные мероприятия по обеспечению промышленной безопасности, анализу риска, предупреждению аварий и локализации их последствий для включения этих мероприятий в план ликвидации аварий, то есть нарушаются требования «Общих правил промышленной безопасности для организаций, осуществляющих деятельность в области промышленной безопасности опасных производственных объектов» и «Методических указаний по проведению анализа риска опасных производственных объектов»;
- практикуется вскрытие угольных пластов наклонными выработками, пройденными по склонным и весьма склонным к самовозгоранию угольным пластам, что приводит к нарушению требований «Правил безопасности...» и повышению риска возникновения подземных пожаров;
- включение в проекты проектных решений отработки камерной и камерно-столбовой системами разработки склонных к горным ударам угольных пластов короткими забоями, то есть нарушаются требования «Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам» (Приказ Ростехнадзора от 02.12.2013 № 576);
- локальные проекты (дегазации, противопожарной защиты и др.) не всегда согласовываются с генеральным разработчиком проекта строительства угледобывающего предприятия;
- в некоторых проектах отсутствуют следующие документы: оформленное в установленном порядке техническое Задание заказчика проектной организации на разработку проектной документации, копии лицензий и лицензионных соглашений пользования недрами, акты земельного отвода и др.;
- негативной практикой стало ведение горных работ до утверждения в установленном порядке проектной документации;
- в проектах, особенно в локальных проектах, разрабатываемых технологическими отделами шахт, применяются термины и определения, не соответствующие горной терминологии, не выделяются способы и схемы вскрытия или подготовки шахтного поля, не всегда идентифицируются геологические, балансовые и промышленные запасы угля в недрах;
- при переходе на электронные формы изготовления чертежей последние, как правило, разрабатываются не прямыми специалистами горного дела, а специалистами информационных технологий, которые оформляют чертежи с существенными отклонениями от требований горной графической документации;
- проектные решения по промышленной и экологической безопасности не всегда адаптированы к конкретным условиям опасного производственного объекта, носят рекомендательный, общий характер, то есть формально копируются нормативные документы;
- не во всех проектах оценивается вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций при внезапном прорыве дамб очистных сооружений, отсутствуют проектные решения по мониторингу гидротехнических сооружений (наблюдения за уровнем воды, глубиной, мутностью воды, состоянием дамб и др.);
- во многих проектах шахт и обогатительных фабрик отсутствуют расчёты содержания вредных веществ в воздухе рабочих зон, отложений угольной пыли, не указываются источники образования пыли, отсутствуют проектные решения, достаточные для составления проекта комплексного обеспыливания техническими службами предприятий.

Исключение выявленных недостатков позволит повысить уровень проектирования. При проектировании инновационных геотехнических систем угледобывающего предприятия необходим учет практики ведения дегазационных работ на шахтах России с учетом выявленных преимуществ дегазационных установок на базе ротационных вакуумных насосов перед дегазационными установками на базе водокольцевых насосов [7].

Также необходим детальный учет в проектировании параметров энергоэффективности производственных процессов и предприятия в целом [8]. При формировании проектного перечня оборудования необходимо учитывать современные тенденции развития горного машиностроения, с прогнозом основных параметров применяемой техники с учетом сроков эксплуатации предприятия [9].

Список литературы

1. Захаров В.Н. Оценка и управление горным риском, как инструмент повышения эффективности и безопасности функционирования горного предприятия Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № S1. - С. 57-69.

2. Федаш А.В. Анализ состояния и направления совершенствования системы проектирования угледобывающих предприятий Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2011. № 1. - С. 4-11.

3. Ефимов В.И., Сидоров Р.В., Корчагина Т.В. Анализ проблем нормативного обеспечения проектирования предприятий по добыче и переработке угля Уголь. 2014. № 3. - С. 86-88.

4. Ефимов В.И., Гушинец В.А., Сидоров Р.В., Корчагина Т.В. Оценка потенциальных экологических последствий при проектировании консервации шахты Уголь. 2014. № 10 (1063). - С. 100-104.

5. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Развитие теории проектирования и реализации идей комплексного освоения недр. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2008, №4. - С.20-41.

6. Федаш А.В. Алгоритм оценки качества проектов угледобывающих предприятий Уголь. 2012. № 11 (1040). - С. 70-74.

7. Захаров В.Н., Забурдяев В.С., Кузьминич С.В., Чекменев А.Ю. Совершенствование дегазационных систем угольных шахт Уголь. 2013. № 4 (1045). - С. 56-59.

8. Петров И.В. Экономическая оценка энергоэффективности углеэнергетических технологий Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № S1. - С. 180-189.

9. Петров И.В., Федаш А.В., MSc E.J.D. Обеспечение устойчивости функционирования и безопасности горношахтного оборудования посредством инновационных опытно-конструкторских решений в горном машиностроении Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2014. № 1. - С. 214-216.

УДК 622.271.3

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ ПЕРЕХОДА ОТ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ К ПОДЗЕМНЫМ ПРИ ОТРАБОТКЕ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ УЧАСТКА «РАЗРЕЗ РАСПАДСКИЙ»

[1]д.т.н. Ордин А.А., [2]Васильев И.В.
1 – Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,
г. Новосибирск, Россия
2 - ОАО «Сибгипрошахт»,
г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Изложена постановка задачи оптимизации глубины перехода от открытых горных работ к подземным для угольного месторождения с учетом лагового фактора. Приведены основные закономерности и результаты численного решения поставленной задачи на примере участка «Разрез Распадский» с использованием методов лагового и динамического моделирования

Ключевые слова: открытые и подземные горные работы, глубина, динамическое и лаговое моделирование, оптимизация

Проблеме обоснования оптимальной глубины перехода от открытых горных работ к подземным посвящено большое количество исследований в России и за рубежом [1−13]. Это связано прежде всего с тем обстоятельством, что при открытом способе добычи полезных ископаемых всегда существует предельная глубина карьера, с превышением которой экономически невыгодно продолжать его углубку из-за больших объемов вскрышных работ. Поэтому является весьма важным, еще на стадии проектирования, установить эту предельную глубину карьера, учитывая влияние на экономическую эффективность последующей разработки оставшихся запасов подземным способом.

В качестве критерия оптимальности поставленной задачи обычно предлагается максимизировать общую прибыль или чистый дисконтированный доход (ЧДД, NPV) от отработки запасов месторождения открытым и подземным способами [4−13]. «При этом нельзя выбрать вариант, где максимальная прибыль достигается только от разработки карьера или только от шахтной добычи, а принимается вариант, в котором совместная отработка карьера и шахты дает максимальную прибыль» [11, с. 115].

Для решения поставленной задачи разработаны методы: Лерча-Гроссмана, Сеймура, плавающего конуса, динамического программирования, нейронной сети, теории графов, сетевых потоков и др. На базе этих методов широко используются программы Surpac Vision, NPV Sheduler, Four-X, MineShed, интегрированные 3-мерные CAD системы Datamine, Vulcan, MineScape, MineSight, Gemcom и др. [4,5,12].

К сожалению, в большинстве опубликованных работ отсутствует постановка и решение более общей задачи совместной оптимизации глубины перехода от открытых горных работ к подземным и проектных мощностей карьера и шахты. Необходимость постановки такой оптимизационной задачи очевидна, так как с изменением глубины перехода от открытых горных работ к подземным изменяются соответственно балансовые запасы полезного ископаемого для карьера и рудника, от которых непосредственно зависят их проектные мощности и сроки службы. Но, несмотря на эту очевидность, такая задача в опубликованных работах в России и за рубежом, практически, не ставилась и не исследовалась. Основной причиной, на наш взгляд, здесь является отсутствие современной общепризнанной методики экономической оценки проектных мощностей и эффективности работы горнодобывающих предприятий с учетом лагового фактора. Достаточно сказать, что до сих пор в практике проектирования рудников для расчета проектной мощности в зависимости от запасов полезного ископаемого используется формула К. Тейлора, полученная им в 70- годы прошлого века на основе статистического анализа работы рудников и карьеров в США, и аналогичная аналитическая зависимость для угольных шахт, полученная П.З. Звягиным в 30-е годы прошлого века путем минимизации простейшей функции себестоимости добычи угля [16].

В ИГД СО РАН разработана методика оптимизации проектных мощностей горнодобывающих предприятий на основе лагового моделирования, которая прошла апробацию в проектных организациях «Гипроуголь», «Кузбассгипрошахт», «Якутнипроалмаз» и использована в ряде проектов шахт, карьеров и рудников [16−17]. Лаговые модели позволяют учитывать влияние задержек во времени на будущую прибыль и таким образом оценивать экономический ущерб от замораживания инвестиций в период строительства предприятий.

В лаговой постановке задача совместной оптимизации глубины (H) перехода от открытых горных работ к подземным и проектных мощностей горнодобывающих предприятий заключается в максимизации чистого дисконтированного дохода за весь период отработки угольного месторождения:

− при одновременной работе разреза и шахты:

$$W(H,A_o,A_p)=\sum_{t=T_o^c(A_o)}^{T_o^c(A_o)+\frac{Q_o(H)}{A_o}}\frac{(s(t)-c_o(t))A_o}{(1+E)^t}+\sum_{t=T_p^c(A_p)}^{T_p^c(A_p)+\frac{Q_p(H_p-H)}{A_p}}\frac{(s(t)-c_p(t))A_p}{(1+E)^t}-$$
$$-\sum_{t=1}^{\frac{Q_o(H)}{A_o}}\frac{c_в(t)V_{вт}(H)}{(1+E)^t}-\frac{K_o(A_o)}{T_o^c(A_o)}\sum_{t=1}^{T_o^c(A_o)}\frac{1}{(1+E)^t}-\frac{K_p(A_p)}{T_p^c(A_p)}\sum_{t=1}^{T_p^c(A_p)}\frac{1}{(1+E)^t}\to\max \quad (1)$$

− при последовательной работе, т.е. вводе шахты в эксплуатацию после окончания открытых горных работ:

$$W(H,A_o,A_p)=\sum_{t=T_o^c(A_o)}^{T_o^c(A_o)+\frac{Q_o(H)}{A_o}}\frac{(s(t)-c_o(t))A_o}{(1+E)^t}+\sum_{t=T_p^c(A_p)+T_o^c(A_o)+\frac{Q_o(H)}{A_o}}^{T_p^c(A_p)+T_o^c(A_o)+\frac{Q_o(H)}{A_o}+\frac{Q_p(H_p-H)}{A_p}}\frac{(s(t)-c_p(t))A_p}{(1+E)^t}-$$
$$-\sum_{t=1}^{\frac{Q_o(H)}{A_o}}\frac{c_в(t)V_{вт}(H)}{(1+E)^t}-\frac{K_o(A_o)}{T_o^c(A_o)}\sum_{t=1}^{T_o^c(A_o)}\frac{1}{(1+E)^t}-\frac{K_p(A_p)}{T_p^c(A_p)}\sum_{t=T_o^c(A_o)+\frac{Q_o(H)}{A_o}}^{T_p^c(A_p)+T_o^c(A_o)+\frac{Q_o(H)}{A_o}}\frac{1}{(1+E)^t}\to\max \quad (2)$$

где $T_o^c(A_o), T_p^c(A_p)$ – строительные лаги в зависимости от проектных мощностей соответственно разреза и шахты, A_o, A_p – оптимизируемые проектные мощности соответственно разреза и шахты, млн.т/год, $s(t)$, $c_o(t)$, $c_в(t)$, $c_p(t)$ – тренды соответственно рыночной цены на уголь, себестоимостей открытых добычных и вскрышных работ, подземных горных работ, t – время, лет, $Q(H)$, $Q(H_p\text{-}H)$ – балансовые запасы угля соответственно отрабатываемые разрезом и шахтой в зависимости от оптимизируемой глубины H, млн.т, $K_o(A_o)$, $K_p(A_p)$ – зависимости инвестиций от проектных мощностей соответственно разреза и шахты, млн.руб.

Задачи (1), (2) относятся к классу лаговых, трендовых, нелинейных моделей с функциональными зависимостями пределов суммирования денежных потоков от оптимизируемых переменных − проектных мощностей разреза и шахты и глубины перехода от открытых горных работ к подземным.

Нелинейный характер зависимостей (1), (2) от оптимизируемых переменных и существование экстремума целевой функции можно проанализировать при допущении независимости от времени рыночной цены на уголь и эксплуатационных затрат. В этом случае после преобразований функциональные зависимости (1), (2) имеют вид:

− при одновременной работе разреза и шахты (открыто-подземная технология):

$$W(H,A_o,A_p)=\frac{(s-c_o)A_o}{E(1+E)^{T_o^c(A_o)}}\left(1-(1+E)^{-Q_o(H)/A_o}\right)+\frac{(s-c_p)A_p}{E(1+E)^{T_p^c(A_p)}}\left(1-(1+E)^{-Q_p(H_p-H)/A_p}\right)-$$
$$-\frac{c_в V(H)A_o}{Q_o(H)E}\left(1-(1+E)^{-Q_o(H)/A_o}\right)-\frac{K_o(A_o)}{ET_o^c(A_o)}\left(1-(1+E)^{-T_o^c(A_o)}\right)-\frac{K_p(A_p)}{ET_p^c(A_p)}\left(1-(1+E)^{-T_p^c(A_p)}\right)\to\max; \quad (3)$$

− при последовательной работе разреза и затем шахты:

$$W(H,A_o,A_p)=\frac{(s-c_o)A_o}{E(1+E)^{T_o^c(A_o)}}\left(1-(1+E)^{-Q_o(H)/A_o}\right)+$$
$$+\frac{(s-c_p)A_p}{E(1+E)^{\left(T_p^c(A_p)+T_o^c(A_o)+Q_o(H)/A_o\right)}}\left(1-(1+E)^{-Q_p(H_p-H)/A_p}\right)-$$
$$-\frac{c_в V(H)A_o}{Q_o(H)E}\left(1-(1+E)^{-Q_o(H)/A_o}\right)-\frac{K_o(A_o)}{ET_o^c(A_o)}\left(1-(1+E)^{-T_o^c(A_o)}\right)- \quad (4)$$
$$-\frac{K_p(A_p)}{ET_p^c(A_p)(1+E)^{\left(T_o^c(A_o)+Q_o(H)/A_o\right)}}\left(1-(1+E)^{-Q_p(H_p-H)/A_p}\right)\to\max.$$

Решение поставленной задачи осуществлено нами на примере обоснования оптимальной глубины перехода от открытых горных работ к подземным для участка «Разрез Распадский».

Поле участка «Разрез Распадский» расположено в северо-восточной части Распадского каменноугольного месторождения Томь-Усинского геолого-экономического района Кемеровской области. В лицензионных границах этого участка прослеживаются два угольных пласта, 21 и 19, со средними мощностями соответственно 8,86 и 10,47 м. Средний угол падения пластов 25°, балансовые запасы угля марки ГЖО составляют 21 млн.т. Длина участков пластов по простиранию 2700 м, мощность наносов 10 м, мощность междупластья − до 160 м. Максимальная глубина запасов угля, подлежащих отработке открытым способом, по проекту составляет 150 м. Отработка этих двух пластов предусматривается двумя самостоятельными участками открытых горных работ (рис. 1).

Решение задачи поиска максимума целевых функций (3) – (4) осуществлялось последовательно, по отдельным этапам и частям этих функциональных зависимостей с целью анализа влияющих факторов на оптимальные параметры.

I этап − поиск максимума ЧДД при отработке пластов открытым способом.

Целевая функция имеет вид:

$$W(H,A_0)=\frac{(s-c_0)A_0}{E}\left((1+E)^{-T_0^c(A_0)}-(1+E)^{-(T_0^c(A_0)+\frac{Q_0(H)}{A_0})}\right)-\frac{c_в V(H)A_0}{Q_0(H)E}\left(1+(1+E)^{-\frac{Q_0(H)}{A_0}}\right)-\frac{K_0(A_0)}{ET_0^c(A_0)}\left(1+(1+E)^{-T_0^c(A_0)}\right)\to\max. \quad (5)$$

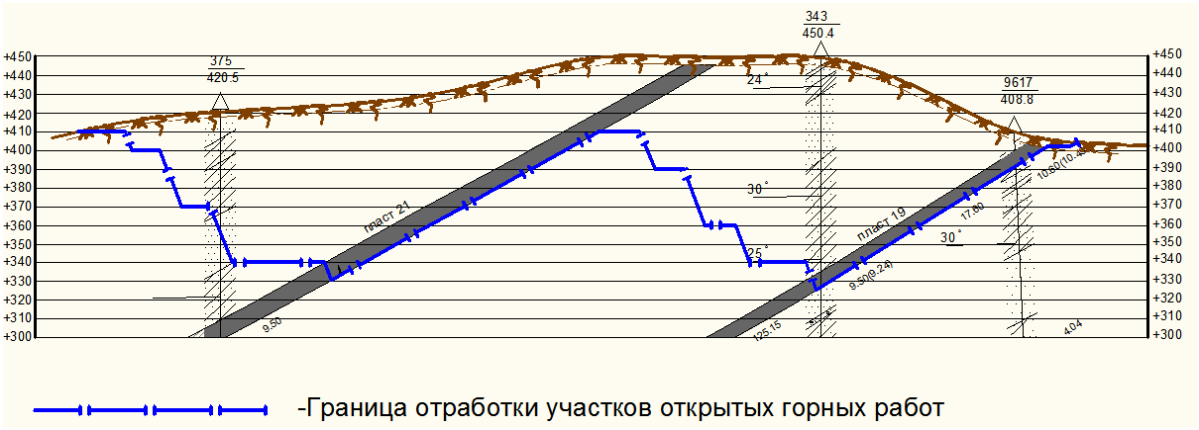


Рис.1. Проектные границы участков открытых горных работ «Разреза Распадский»

Результаты решения задачи (5) для пластов 21 и 19 приведены на рис. 2.

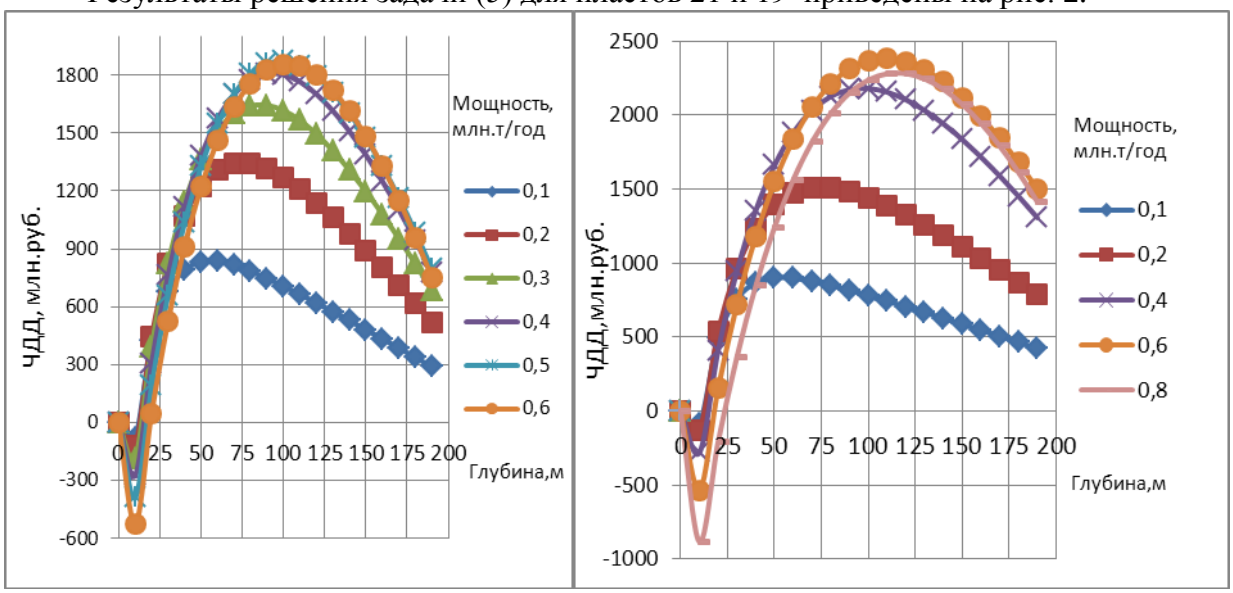


Рис.2. Зависимости ЧДД от глубины открытых горных работ при отработке:
а) пласта 21, б) пласта 19

Как видно, оптимальными решениями при отработке открытым способом являются:

- для пласта 21 − глубина 100 м и проектная мощность участка 500 тыс./год,
- для пласта 19 − глубина 110 м и проектная мощность участка 600 тыс.т/год.

При формировании целевой функции (5) дисконтированная прибыль при отработке угольного пласта мощностью m, углом падения α и протяженностью по простиранию L открытым способом формировалась также в виде кубической параболы относительно глубины H:

$$F_O(H) = \varepsilon((s - c_O)\gamma_o V_o(H) - c_B\gamma_B V_B(H)) =$$
$$= \varepsilon(s - c_O)\gamma_o mL\frac{(H-h)}{\sin\alpha} - \varepsilon c_B\gamma_B\left(\pi\frac{H}{3}\left(L_1L_2 + l_1l_2 + \sqrt{L_1L_2l_1l_2}\right) - mL\frac{(H-h)}{\sin\alpha}\right) = \quad (6)$$
$$= -a_1H^3 - b_1H^2 + c_1H - d_1 \to \max,$$

где малые и большие полуоси эллипсов поперечных сечений карьера на глубине H и земной поверхности определяются соответственно по формулам:

$$l_1 = \frac{0.5m}{\sin\alpha}; l_2 = 0.5L;\ L_1 = 0.5(2l_1 + Hctg\alpha + Hctg\beta);\ L_2 = 0.5L + Hctg\beta. \quad (7)$$

В целевой функции (6) объем вскрышных пород $V_в(H)$ определяется с учетом формулы для расчета объема эллиптического усеченного конуса [14].

Особенностью функциональной зависимости (5) является заметное смещение максимума функции в сторону уменьшения глубины открытых горных работ за счет влияния коэффициента дисконтирования $\varepsilon(H)$ (рис. 3). Из расчетных данных для пласта 21, видно, что максимальная валовая прибыль 4,4 млрд.руб. достигается при глубине разреза 130 м, а учет коэффициента дисконтирования денежных потоков приводит к снижению дисконтированной прибыли до 2,72 млрд. руб. и оптимальной глубины до 110 м. Этому же значению оптимальной глубины соответствует максимум ЧДД 2,33 млрд.руб.

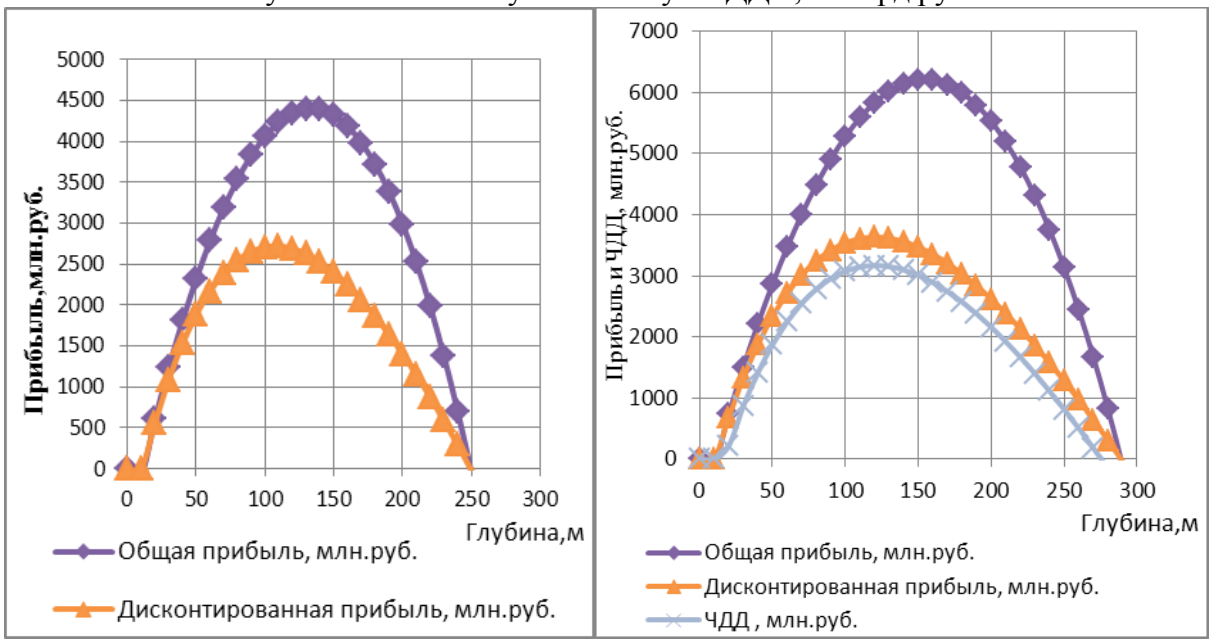


Рис.3. Зависимости валовой, дисконтированной прибылей и ЧДД от глубины открытых горных работ при отработке: а) пласта 21, б) пласта 19

II этап – расчет ЧДД при отработке оставшихся запасов угля подземным способом.

Расчет ЧДД шахты для отработки остающихся после окончания открытых горных работ балансовых запасов угля пластов 19 и 21 произведен в зависимости от проектной мощности шахты (A_p)и глубины (H), на которой прекращаются открытые горные работы, по формуле:

$$W(H,A_p)=\frac{(s-c_p)A_p}{E}\left((1+E)^{-T_p^c(A_p)}-(1+E)^{-(T_p^c(A_p)+\frac{Q_p(H_p-H)}{A_p})}\right)--\frac{K_p(A_p)}{ET_p^c(A_p)}\left(1-(1+E)^{-T_p^c(A_p)}\right)\to\max. \quad (8)$$

Анализ функции (8) показывает, что при увеличении глубины разреза чистый дисконтированный доход и оптимальные значения проектной мощности шахты снижаются в связи с уменьшением запасов угля для подземного способа отработки.

III этап – расчет ЧДД при одновременной и последовательной отработке пластов 19 и 21 открытым и подземным способами.

Решение общей задачи совместной оптимизации глубины перехода от открытых горных работ к подземным и проектных мощностей разреза и шахты по условию максимума ЧДД произведено с использованием принципа оптимальности динамического программирования − «… какое бы не было первоначальное состояние и решение в начальный момент, последующие решения должны составлять оптимальное поведение относительно состояния, получающегося в результате первого решения» [18, с. 37].

В соответствии с этим принципом применительно к поставленной нами задаче максимизации чистого дисконтированного дохода от отработки всех запасов угольного месторождения открытым и подземным способами основное функциональное уравнение динамического программирования можно записать в виде:

$$W(H,A_o,A_p)=\max_H\left[\max_{A_o}(W_o(H,A_o))+\max_{A_p}\left(W_p(H_p-H,A_p)\right)\right],\ H=0.\Delta H,2\Delta H,...,H_p. \quad (9)$$

На рис. 4 приведены результаты решения задачи (9) при последовательной отработке пластов 19 и 21 первоначально открытым и затем подземным способами.

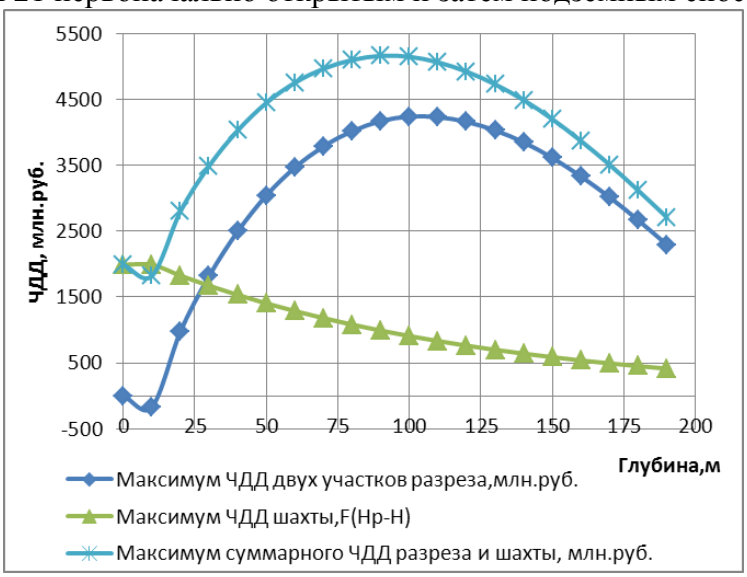


Рис.4. Зависимость ЧДД от глубины при последовательной отработке пластов 19 и 21 открытым и подземным способами

Суммарная величина ЧДД достигает максимума 5162,13 млн.руб. при оптимальных проектных мощностях шахты 1,0 млн.т/год и двух участков разреза 1,1 млн.т/год (0,5 млн.т/год для участка пласта 21 и 0,6 млн.т/год для участка пласта 19). При общем росте ЧДД с 4239,7 до 5162,13 млн.руб. оптимальная глубина перехода с открытого способа добычи угля на подземный при этом уменьшается со 100 до 90 м.

Выводы

В современных условиях рыночной экономики для собственников горнодобывающих предприятий наибольший интерес представляют оптимальные технологические параметры шахт и карьеров, при которых можно достичь максимума прибыли или чистого

дисконтированного дохода за весь период отработки месторождения. К таким технологическим параметрам относятся глубина перехода от открытых горных работ к подземным и проектные мощности карьера и шахты.

Для угольного месторождения, также как и для кимберлитовых трубок, функциональная зависимость общей прибыли представляет собой кубическую параболу, имеющую точку максимума и две точки безубыточности относительно глубины разработки, одна из которых характеризуется предельным коэффициентом вскрыши. Следует заметить, что предельный коэффициент вскрыши, который часто используется в публикациях, может использоваться только для определения границы безубыточности работы карьера по глубине. Главным критерием для определения оптимальной глубины перехода от открытых горных работ к подземным является максимум суммарного чистого дисконтированного дохода от эксплуатации карьера и шахты.

Коэффициент дисконтирования будущих денежных потоков, функционально зависящий от глубины горных работ и проектной мощности разреза, оказывает значительное влияние на точку максимума дисконтированной прибыли, смещая ее в сторону уменьшения оптимальной глубины открытых горных работ.

В результате решения поставленной задачи методом динамического программирования доказано, что учет в критерии оптимальности прибыли от эксплуатации шахты смещает в сторону уменьшения оптимальную глубину перехода от открытых горных работ к подземным. В частности, на примере отработки двух угольных пластов участка «Разрез Распадский» оптимальные проектные мощности участков открытых горных работ составляют соответственно 500 тыс.т/год при отработке пласта 21 и 600 тыс.т/год при отработке пласта 19; оптимальная проектная мощность шахты составляет 1000 тыс.т/год, а оптимальная глубина перехода от открытых горных работ к подземным составляет 90 м.

Список литературы

1. Супрун В.И., Рыбак Л.В., Радченко С.А. и др. Обоснование границ открытых горных работ при отработке крупных угольных брахисинклиналей // Уголь. – 2012. −№ 6. − с.30−33.

2. Твердов А.А., Жура А.В., Никишичев С.Б. Современные методические подходы к определению границ открытых горных работ // Уголь. – 2009. −№ 2. − с.21-23.

3. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. Открыто-подземная технология добычи угля // Уголь. – 2009. −№ 2. − с.6−9.

4. Капутин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ // С.−П., Недра, 2004. – 425 с.

5. Капутин Ю.Е. Информационные технологии и экономическая оценка горных проектов // С.−П., Недра, 2008. – 490 с..

6. Димитракопулос Р. Стохастическая оптимизация стратегического проектирования шахт: десятилетие разработок и исследований // ФТПРПИ. – 2011.− № 2.− с. 5−18.

7. Элкингтон Т., Дурхэм Р. Объединение задач определения размера приконтурных блоков и оптимизации производственной мощности карьера // ФТПРПИ. – 2011.− № 2.− с. 41−56.

8. Сабур С., Димитракопулос Р. Учет геологических и экономических неопределенностей, фактора эксплуатационной гибкости при проектировании открытых горных работ// ФТПРПИ. – 2011.− № 2.− с. 57−67.

9. Ричмонд Э. Оптимизация эффективности открытых горных работ с помощью сроков капиталовложений и стохастического моделирования на основе переменных, зависимых от времени // ФТПРПИ. – 2011.− № 2.− с. 94−102.

10. Годой М., Димитракопулос Р. Количественный анализ рисков при стратегическом планировании горных работ: методика и применение // ФТПРПИ. – 2011.− № 2.− с. 103−113.

11. Кинг Б. Стратегическое планирование как средство повышения рентабельности горного производства // ФТПРПИ. – 2011.− № 2.− с. 114−18.

12. Achireko P.K. Application of modified conditional simulation and artificial neural networks to open pit mining // Canada, Nova Scotia, Halifax, Dalhousie University Daltech, 1998.

13. Мигер К., Димитракопулос Р., Эйвис Д. Оптимальное проектирование карьера и размеров выемочных блоков с учетом проблемы межблочного интервала// ФТПРПИ. – 2014.− № 3.

14. Ордин А.А. Динамические модели оптимизации проектной мощности шахты / Новосибирск, ИГД СО АН СССР, 1991. −158 с.

15. Ордин А.А. , Никольский А.М., Голубев Ю.Г. Лаговое моделирование и оптимизация проектной мощности рудника при отработке россыпных алмазоносных залежей «Солур» и «Восточная» республики Саха-Якутия // ФТПРПИ. – 2012.− № 3.− с.125−135.

16. Ордин А.А., Клишин В.И. Оптимизация технологических параметров горнодобывающих предприятий на основе лаговых моделей // Новосибирск, Наука. −2009.−166 с.

17. Кодола В.В., Ордин А.А. Оптимизация технологических параметров при проектировании участка подземных горных работ на действующем разрезе «Сибиргинский» // «Уголь». – 2000. − № 8. с. 35-38.

18. Беллман Р. Прикладные задачи динамического программирования // М.,Наука, 1965. −457 с.

УДК 622.83

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ДЛЯ ОЦЕНКИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОТРАБОТКЕ СЛЕПЫХ РУДНЫХ ТЕЛ ШЕРЕГЕШЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

[1]д.т.н. Лобанова Т.В., [2] д.т.н. Серяков В.М.
1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
2 – Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Показана актуальность исследований, приведена постановка задачи, изложены методы её решения. Приведены результаты расчетов НДС массива для различных его состояний. Выполнена оценка возможного развития геомеханических процессов в налегающей толщи от контура выработанного пространства до земной поверхности.

Ключевые слова: подработанный массив, охраняемые объекты, математическое моделирование, растягивающие напряжения, предел прочности при растяжении, обрушение.

В настоящее время на Шерегешевском месторождении основные работы ведутся на участках «Новый Шерегеш» и «Подрусловый», где отрабатываются слепые рудные тела [1]. При достигнутых объемах отработки на участке «Новый Шерегеш» по действующей методике расчета устойчивости обнажений слепых рудных тел [2] состояние налегающей толщи на бóльшей части участка оценивается как неустойчивое, при котором возможно обрушение земной поверхности. В то же время фактическое состояние налегающих пород над выработанным пространством участка остается устойчивым, что обусловлено особенностями залегания рудных тел и системой отработки запасов. За счет склонения рудных тел участка на юг при развитии очистных работ на нижних горизонтах увеличивается глубина залегания рудных тел, что в совокупности с наличием породных целиков обеспечи-

вает устойчивость вмещающих пород. Однако при дальнейшем развитии очистных работ, особенно в северо-западном торце участка, где расположены охраняемые объекты, проблема оценки состояния устойчивости фактических и проектируемых очистных пространств очень актуальна.

При оценке процессов деформирования и разрушения подрабатываемого массива участка «Новый Шерегеш» использовано решение задачи на основе метода расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) породного массива, учитывающего разрушение подработанной толщи под действием критических растягивающих напряжений [3]. Данный метод позволяет выявить область деформирования в подработанном массиве и возможность выхода её на земную поверхность путем моделирования обрушения пород в выработанное пространство и их разрушения вблизи земной поверхности.

Для расчетов в характерном и наиболее актуальном для охраны земной поверхности сечении вкрест простирания рудной зоны участка (рис. 1) методом конечных элементов построена математическая модель (рис. 2).

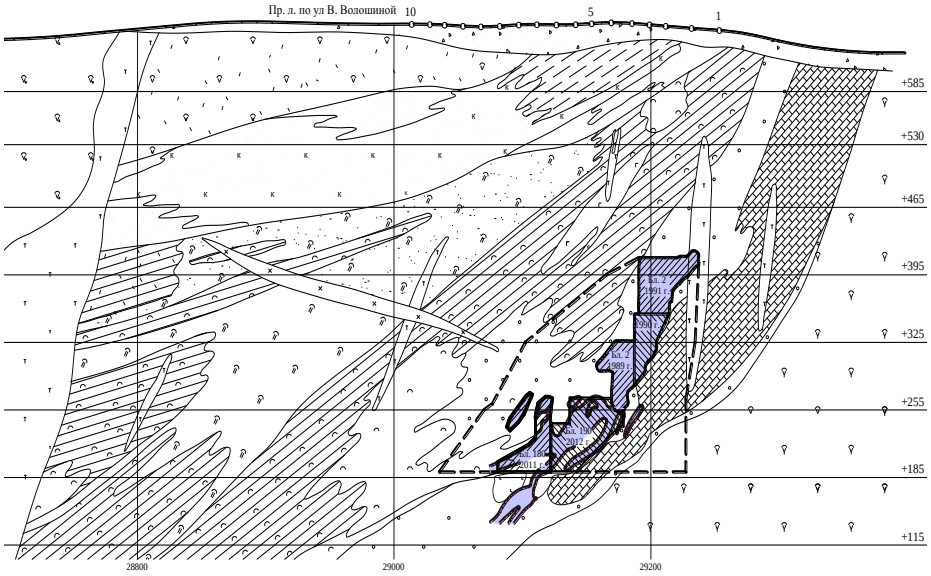


Рис. 1. Геологический разрез вкрест простирания рудной зоны участка «Новый Шерегеш»

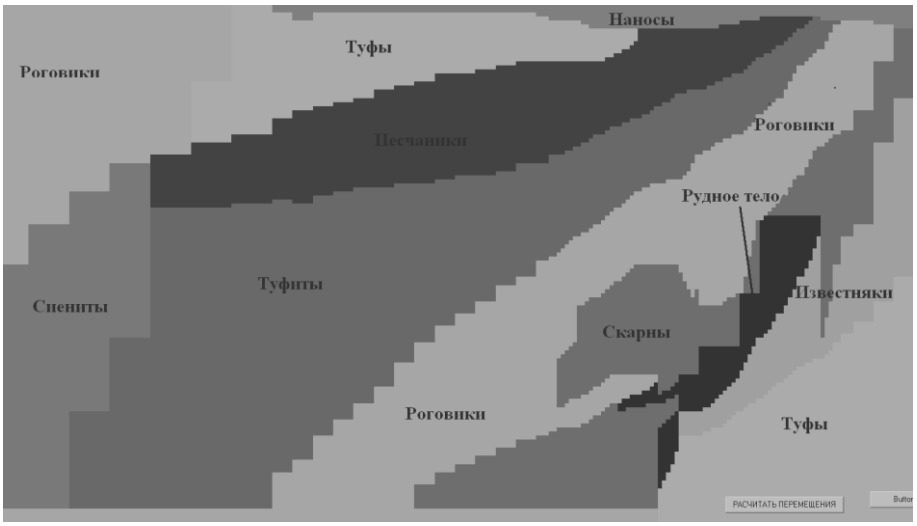


Рис. 2. Модель массива горных пород для участка «Новый Шерегеш»

Основные допущения, которые были приняты при выполнении расчетов, следующие:

1) предполагались выполненными условия плоской деформации. Это означает, что конфигурация рудных тел, вмещающих пород сохраняется на значительном расстоянии по координате *Z*, направленной перпендикулярно рассматриваемому разрезу. Данное предположение является известным приближением реальной ситуации. Однако в рамках данного приближения осуществляется оценка наиболее опасной ситуации с точки зрения разрушения породного массива, которая может возникнуть в данных условиях;

2) на границах контакта разномодульных горных пород реализуются условия жесткого сцепления.

Основные этапы построения конечно-элементной модели состояли в следующем:

1) разбиение расчетной области, имеющей форму прямоугольника, на конечные элементы треугольного вида с конфигурацией областей залегания различных пород в соответствии со строением массива в выбранном разрезе (рис. 2);

2) задание в каждом конечном элементе физико-механических свойств, соответсвующих данной горной породе (табл.);

3) задание граничных условий на внешнем контуре расчетной области, соответствующих исходному напряженному состоянию массива в исследуемом районе.

Таблица

Физико-механические свойства пород Шерегешевского месторождения

Тип породы	Плотность, т/м^3	Коэффициент крепости	Предел прочности, МПа, на одноосное			Модуль упругости $E\times10^{-4}$, МПа	Коэффициент Пуассона	Данные паспорта прочности	
			сжатие	растяжение	срез (сдвиг)			сцепление в куске, МПа	угол внутреннего трения в куске, град.
Известняки	2,74	8 – 10	96,0	5,1	8,7	5,32	0,23	13,58	62
Сиениты	2,67	14 – 16	196,0	10,63	10,8	5,77	0,21	22,7	56
Скарны	3,51	16 – 18	260,0	12,77	17,9	10,1	0,27	31,53	60,5
Диориты	2,94	15	203,4	17,8	19,9	7,79	0,25	36,2	55
Песчаники	2,71	8	93,0	8,0	8,7	6,2	0,24	15,8	54,5
Туфы	2,82	15 – 18	170,0	10,8	13,5	7,45	0,25	25,5	57,5
Роговики	2,88	12 – 18	154,9	10,0	13,8	7,97	0,27	23,9	59
Туффиты	2,8	15	136,0	10,5	12,8	7,62	0,27	22,7	56

По результатам экспериментальных исследований параметров исходного поля напряжений в массиве горных пород Шерегешевского месторождения [4] в этом решении принято: $\sigma_1 = -\gamma H$; $\sigma_2 = -1{,}4\gamma H$; $\sigma_3 = -2{,}6\gamma H$. Здесь: H − расстояние рассматриваемой точки до земной поверхности; γ − средний объемный вес налегающих пород до глубины H. В соответствии с этим для рассматриваемого разреза вертикальные напряжения $\sigma_y = -\gamma H$, горизонтальные напряжения $\sigma_x = -1{,}4\gamma H$, а соответствующие граничные условия имеют следующий вид:

а) на левой границе расчетной области $\sigma_x = -1{,}4\gamma H$; $\tau_{xy} = 0$,

где τ_{xy} − касательные напряжения;

б) на правой границе расчетной области $u = 0$; $\tau_{xy} = 0$,

где u − проекция вектора перемещения рассматриваемой точки на горизонтальное направление;

в) на нижней границе расчетной области $\tau_{xy} = 0$; $v = 0$,

где v − проекция вектора перемещения рассматриваемой точки на вертикальное направление;

г) на верхней границе расчетной области $\sigma_y = 0$; $\tau_{xy} = 0$.

Кроме граничных условий в каждой узловой точке расчетной области были заданы объемные силы, соответствующие весу горных пород. Они отвечали данным эксперимен-

тальных исследований физико-механических свойств пород Шерегешевского месторождения (табл.).

Размеры расчетной области были выбраны следующими: по горизонтали (оси Ох) − 3500 м, по вертикали (оси Оу) − 5000 м. Расстояния по оси Ох от района расположения рудных тел до вертикальных границ расчетной области приняты примерно одинаковыми, т.е. рудные тела были расположены в центре расчетной области. Такое расположение и размеры расчетной области обеспечили отсутствие влияния отработки рудных тел на принятые краевые условия на ее внешних границах.

Число узловых точек разбиения исследуемой области на конечные элементы было равно 20800. Размеры конечных элементов в зоне выемки рудных тел не превышали 4,5 м, что позволяло получить численное решение поставленной задачи с достаточной для практических целей точностью.

В ходе решения первыми определялись компоненты вектора перемещений узловых точек, далее по ним находились поля деформаций и напряжений. Для выполнения расчетов применялся разработанный в ИГД СО РАН комплекс программ, с успехом использованный для решения различных задач механики горных пород [5]. С его помощью находилось геомеханическое состояние массива, соответствующее упругой стадии деформирования горных пород.

Вследствие разных механических характеристик горных пород, составляющих массив в районе отработки участка «Новый Шерегеш», становится неоднородным и их исходное напряженное состояние. Особенности распределения главных напряжений σ_1 и σ_2 видны на рис. 3. Так как $\sigma_1 > \sigma_2$, то напряжение σ_1 практически везде соответствует распределению напряжения σ_y, а σ_2 − напряжения σ_x.

а) б)

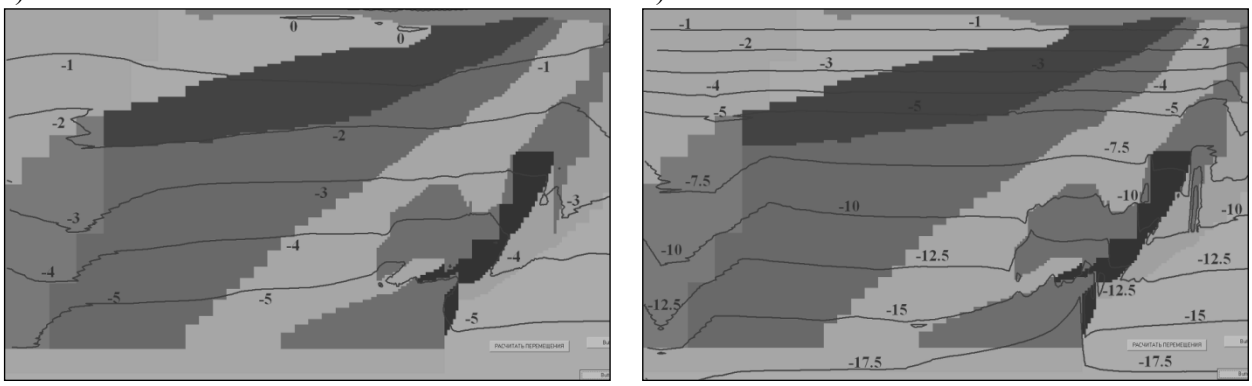


Рис. 3. Исходное напряженное состояние массива горных пород в районе отработки рудных тел: а) − σ_1; б) − σ_2

Отклонения от линейного изменения напряжений с глубиной наблюдаются в областях контакта разномодульных пород, имеющих существенное различие в физико-механических свойствах, а именно, в окрестности контактов сиенитов с окружающими породами, а также контактов скарнов и диоритов с другими породами. Наиболее неоднородное распределение напряжений отмечается в непосредственной окрестности залегания рудных тел.

На рис. 4 приведены изолинии распределения главных напряжений σ_1 и σ_2, сформировавшихся в массиве горных пород после выемки рудных тел в сечении рассматриваемого разреза. Решение получено в предположении упругого деформирования всех пород, составляющих массив, и без учета их возможного разрушения. Отработка рудных тел вносит существенные изменения в исходное поле напряжений. По высоте эти изменения распространяются до земной поверхности.

Над выработанным пространством образуется значительная область действия растягивающих напряжений. Ее конфигурацию и размеры можно оценить по виду изобары с

нулевым значением напряжения σ_1 (рис. 4 а). Уровень растяжения почти везде не превышает величины 5 МПа. В окрестности земной поверхности также формируются две зоны действия растягивающих напряжений (рис. 4 а), однако их уровень ниже, чем в области над выработанным пространством. Области концентрации сжимающих напряжений формируются вблизи левой и правой границ выработанного пространства (рис. 4 б). Максимальные значения напряжений сжатия здесь приближаются к 50 МПа.

а) б)

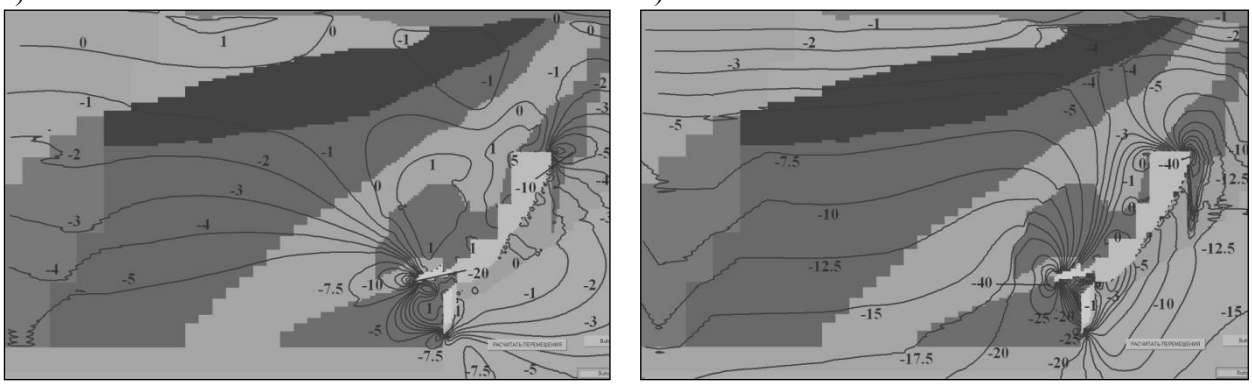


Рис. 4. Распределение главных напряжений после полной отработки рудных тел при упругом деформировании: а) – σ_1; б) – σ_2

Области массива горных пород с наличием полей растягивающих напряжений будут определять характер разрушения подработанного массива. Связано это с тем, что значения пределов прочности горных пород при растяжении значительно ниже соответствующих величин при сжатии и сдвиге. Оценивая уровень сжимающих и растягивающих напряжений в окрестности границ выработанного пространства при полной отработке рудных тел участка, можно констатировать, что процесс разрушения в подработанном массиве связан с формированием в подработанной толще зон растягивающих напряжений.

Характер перераспределения полей напряжений при разрушении налегающей толщи, особенности развития зон разрушения и обрушения пород в выработанное пространство оценены с помощью разработанного в ИГД СО РАН метода расчета, основанного на использовании при моделировании матрицы жесткости расчетной системы, формируемой один раз для нетронутого горными работами массива [3]. Его основные особенности заключаются в следующем.

Обрушение горных пород в выработанное пространство означает полную потерю их механической связи с окружающим массивом, образование новых свободных от внешней нагрузки поверхностей. Этот важный физический факт необходимо принимать во внимание при математическом моделировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород над выработанным пространством с учетом процесса разрушения налегающей толщи. В обычно применяемых методах, описывающих нелинейное поведение и разрушение горных пород, этому обстоятельству не уделялось должного внимания. Для задач о напряженном состоянии среды вокруг одиночной и нескольких выработок небольших сечений использование имеющихся моделей нелинейного и запредельного деформирования давало достаточно точную оценку размеров и расположения зон разрушения и не требовало рассмотрения факта обрушения пород в выработанное пространство.

Решение нелинейных задач геомеханики с помощью метода конечных элементов начинается с нахождения решения поставленной задачи в рамках теории упругости. На его основе с помощью различных итерационных алгоритмов и критериев прочности находится деформированное состояние среды, в некоторых областях которой выполнены условия разрушения, т.е. определяются расположение и размеры зон разрушения породного массива. Анализируя характер распределения упругих полей напряжений σ_1 и σ_2 над

выработанным пространством значительных размеров на сравнительно небольшой глубине отработки и, принимая во внимание значения пределов прочности массива при сжатии, сдвиге и растяжении, можно утверждать, что в кровле отработанного пространства процесс разрушения связан с действием растягивающих напряжений.

Во многих задачах механики горных пород описать поведение сплошной среды под действием растягивающих напряжений удается путем применения модели «среды без растяжения» [6, 7]. В тех зонах, где в процессе деформирования появляются главные напряжения $\sigma_1>0$, материал считается разрушенным за счет образования трещин отрыва, перпендикулярных направлению действия растяжения. После их образования напряжения в направлении действия σ_1 обращаются в ноль. При математическом моделировании обращение в ноль главных растягивающих напряжений достигается с помощью применения итерационной процедуры метода начальных напряжений. Основным преимуществом метода начальных напряжений является неизменяемость матрицы жесткости расчетной системы в процессе итераций. Она остается такой же, какой была при нахождении упругого решения. Модель «среды без растяжения» можно применять и для описания деформирования материалов, имеющих ненулевые значения пределов прочности при растяжении.

Если применить эту модель к расчету процесса разрушения массива горных пород над выработанным пространством значительных размеров, то полученные из упругого решения зоны действия растягивающих напряжений в процессе нахождения упругопластического решения слабо изменяются. Связано это с тем, что величины растягивающих напряжений малы и обращение их в ноль не влияет значительно на картину распределения напряжений в кровле выработанного пространства.

Применение других моделей разрушения, основанных на более детальном учете перераспределения напряжений вокруг зон разрушения за счет растягивающих напряжений, существенно не изменяет геомеханическую ситуацию в окрестности выработанного пространства. Причина несоответствия результатов моделирования и реальной картины деформирования и разрушения массива в окрестности очистного забоя заключается в неучете одной из главных особенностей геомеханического поведения массива в зоне обрушения: полной потере сцепления разрушенных пород с относительно сплошным вышележащим массивом. При математическом моделировании учет разрушения по растягивающей компоненте оставляет не разрушенной среду в направлении действия другой сжимающей компоненты тензора напряжений.

Вместе с тем, в рамках применения метода начальных напряжений имеется возможность моделирования разрушения среды и в направлении действия второго главного напряжения. Также как и в алгоритме «среды без растяжения» можно считать, что начальные напряжения формируются и за счет превышения вторым главным напряжением нулевого значения, т.е. вектор начальных узловых сил определяется выражением:

$$\{F\}_{\{\sigma^н\}} = \int_V [B]^T \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} dv, \qquad (1)$$

где σ_x, σ_y, τ_{xy} – компоненты тензора напряжений в конечном элементе, находящемся в зоне обрушения.

Итерационный процесс, построенный на основе применения соотношений (1), сходится, что было установлено в работах [8, 9], где аналогичный подход использовался для моделирования выработанного пространства путем обращения в его элементах всех компонент тензора напряжений в ноль. Таким образом, при выполнении условия разрушения в конечном элементе, расположенном в кровле очистного пространства, он считается разрушенным и потерявшим связь с окружающим массивом. Разрушение элемента моделируется обращением в нем в ноль всех компонент тензора напряжений. Для этих целей также используется процедура метода начальных напряжений, что позволяет построить эффективный и простой алгоритм расчета.

Необходимо отметить, что области растягивающих напряжений в окрестности отработанного пространства, в которых массив горных пород может подвергаться разрушению, формируются и вне зоны обрушения. Здесь для моделирования процесса деформирования можно использовать алгоритм, реализующий соотношения среды, разрушающейся в направлении действия предельного растягивающего напряжения (аналог модели «среда без растяжения»). Использование предлагаемого метода расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород с учетом разрушения подработанной толщи позволяет применять при нахождении решения неизменную матрицу жесткости расчетной системы.

Разработанный метод моделирования процесса разрушения вмещающего массива был применен для расчетов напряженно-деформированного состояния пород в условиях отработки участка «Новый Шерегеш». Расчет со значениями пределов прочности горных пород на растяжение, взятыми из таблицы, показал, что разрушения вмещающего массива не происходит, все породы сохраняют сплошность и не обрушаются в выработанное пространство.

Действительно, полученное упругое решение (рис. 4) дает максимальное значение растягивающих напряжений в кровле выработанного пространства, несколько превышающее величину 5 МПа. Такая величина предела прочности наблюдается лишь у известняков. Упругий же расчет показывает, что максимальные растягивающие напряжения достигаются в скарнах и роговиках, которые имеют пределы прочности на растяжение 12,7 и 10 МПа соответственно.

Вместе с тем, необходимо отметить, что физико-механические свойства и значения пределов прочности горных пород при растяжении получены на основе лабораторных испытаний сплошных образцов. В натурных же условиях все эти параметры существенно ниже. Хорошо известно, что при теоретическом определении геомеханического состояния неоднородного массива уменьшение деформационных параметров горных пород не оказывает влияния на их напряженное состояние. Изменяются при этом в соответствующем отношении величины перемещений и деформаций. Таким образом, можно утверждать, что полученное упругое распределение будет соответствовать таковому при других механических свойствах породного массива.

Уменьшение же значений пределов прочности горных пород при разрушении в реальном массиве может привести к существенному изменению характера деформирования и разрушения массива в окрестности выработанного пространства. Для установления особенностей геомеханического состояния массива при отработке участка «Новый Шерегеш» был проведен ряд расчетов с различными значениями пределов прочности горных пород на растяжение.

В случае уменьшения пределов прочности горных пород при растяжении в два раза в кровле очистного пространства формируются области, в которых превышен предел прочности при растяжении. Объем этих областей незначителен и обрушение пород практически не сказывается на перераспределении напряженного состояния массива вокруг выработанного пространства. Процессы разрушения и обрушения налегающей толщи вследствие этого не получают дальнейшего развития. Результирующее нелинейное решение, потребовавшее выполнения всего трех шагов итерационного процесса, фактически не отличается от упругого напряженно-деформированного состояния. Практически такой же вид решение поставленной задачи имеет и в случае дальнейшего уменьшения пределов прочности горных пород на растяжение. Происходит лишь незначительное увеличение объемов обрушенных пород в кровле очистного пространства.

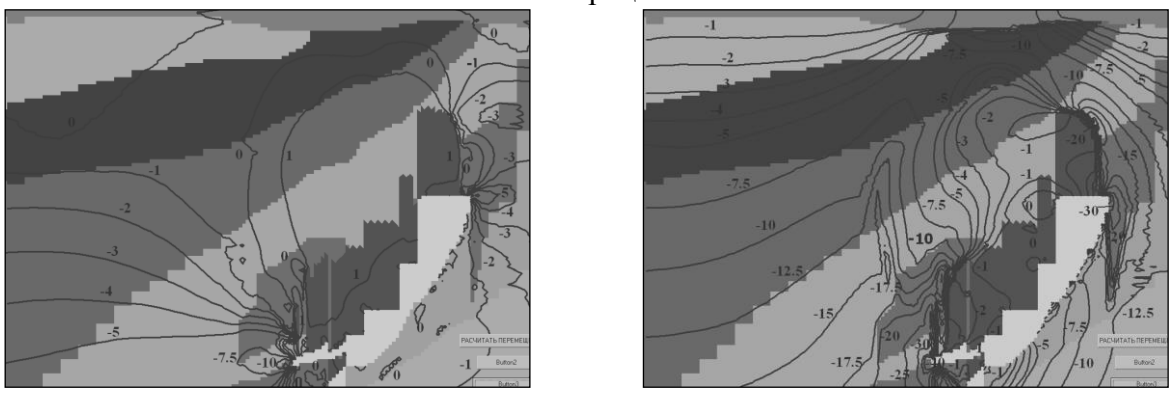
Качественное изменение в характере перераспределения напряженного состояния и течении процесса разрушения пород в окрестности очистного пространства наступает при уменьшении пределов прочности при растяжении более чем в 10 раз. Представление о развитии процесса разрушения пород в кровле очистного пространства дает рис. 5, где показаны результаты расчетов напряжений после выполнения 25, 50 и 100 шагов итерацион-

ного процесса нахождения решения. Более темным фоном над выработанным пространством выделены области, породы которых обрушены в выработанное пространство. Видно, что разрушение налегающих пород постепенно охватывает все большие области подработанного массива и распространяется до земной поверхности.

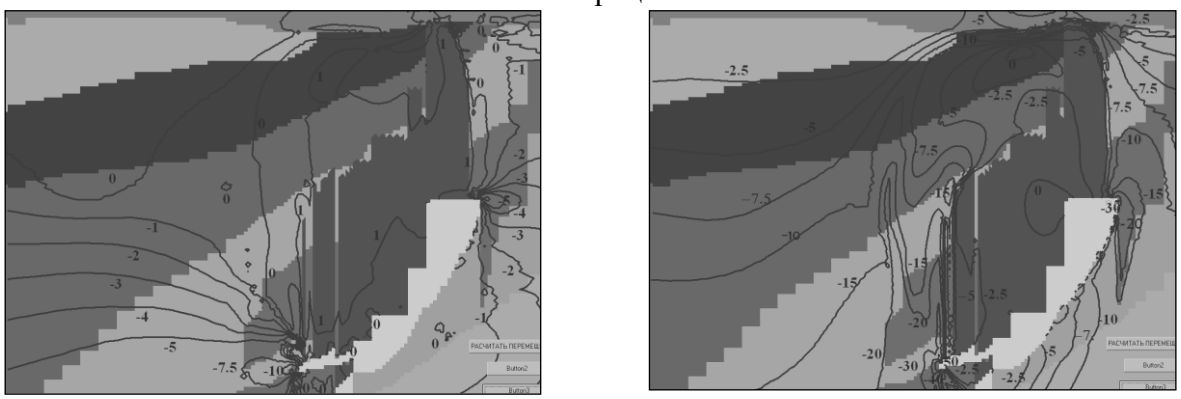
Итерационный процесс служит для нахождений решения, в котором устанавливаются границы областей разрушения, обрушения и упругого состояния массива, а также соответствующее напряженно-деформированное состояние. Следовательно, каждую итерацию можно рассматривать как последовательность развития процесса разрушения в окружающем выработанное пространство массиве и возникающего вследствие этого перераспределения напряженного состояния пород. Номера итераций выбраны так, чтобы можно было представить особенности развития процесса разрушения подработанной толщи.

а) б)

25 итераций



50 итераций



100 итераций

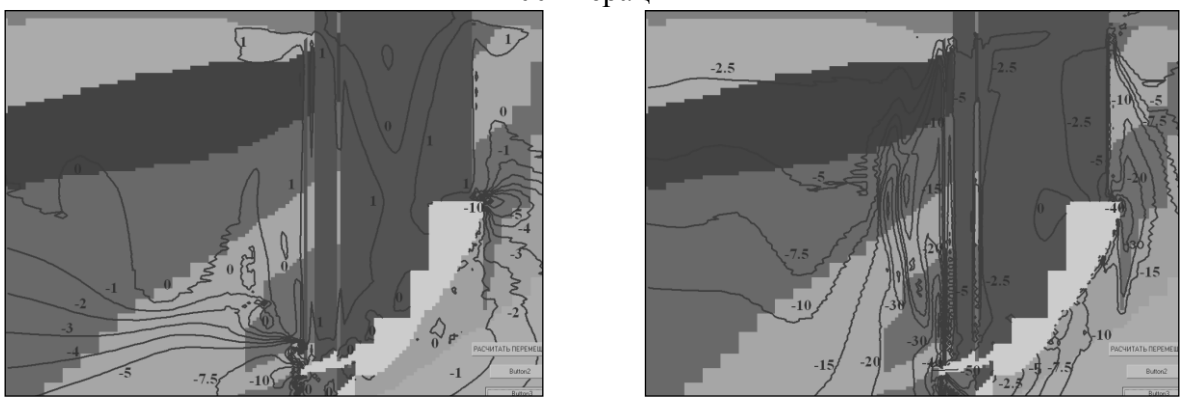


Рис. 5. Развитие процесса обрушения в налегающих породах при различном числе итераций: а) - напряжение σ_1, б) − напряжение σ_2

Процесс перераспределения напряжений в массиве по мере развития разрушения в подработанных породах носит сложный характер. В целом же он соответствует известным представлениям о распределении зон разгрузки и концентрации напряжений в окрестности выработок различных конфигураций. Так, вследствие увеличения объема очистного пространства за счет обрушения пород увеличивается концентрация напряжений в зонах опорного давления. Обширная область разгрузки, сформированная в кровле очистного пространства, развивается до земной поверхности.Таким образом, в результате выполненных расчетов и оценок установлено:

1) расчет параметров напряженно-деформированного состояния и разрушения массива горных пород в окрестности выработанного пространства при отработке слепых рудных тел со значениями пределов прочности горных пород при растяжении в образцах показал, что вмещающие породы сохраняют устойчивое состояние и не обрушаются в выработанное пространство;

2) уменьшение соответствующих различным горным породам пределов прочности при растяжении, наблюдаемое в реальном массиве, до 0,5 – 1,27 МПа (до 10 раз), приводит к появлению незначительных по объему областей обрушения в кровле очистного пространства. Исследованиями по оценке модуля деформации в массиве и соотношению его с модулем упругости в образце, проведенными на Таштагольском месторождении, установлено [10], что модуль деформации в массиве составляет 20 % от модуля упругости в образце. Исходя из чего, для условий оценки устойчивости массива участка «Новый Шерегеш» можно предположить, что при уменьшении прочности пород в массиве в 5 раз (что наблюдается в натурных условиях) обрушение пород не достигнет земной поверхности;

3) если пределы прочности на растяжение, соответствующие различным горным породам, будут меньше, чем 0,5 – 1,27 МПа, то в кровле очистного пространства начнется процесс последовательного обрушения горных пород, развивающийся до земной поверхности.Определение реальных параметров пределов прочности горных пород при разрушении, проявляющемся при проведении взрывных работ на рудных месторождениях Горной Шории, связано с большими затратами. Наиболее целесообразно проведение совместных экспериментально-аналитических исследований, позволяющих по измерениям смещений на постоянно действующих наблюдательных станциях аналитическими методами устанавливать соответствующие деформационные параметры окружающего выработанное пространство массива и осуществлять прогноз его геомеханического состояния.

Список литературы

1 Лобанова, Т.В. Мониторинг сдвижения земной поверхности Шерегешевского месторождения при массовых взрывах [Текст] / Т.В. Лобанова, О.Л. Трофимова, С.А. Лобанов // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 68 – 75.

2 Инструкция по условиям безопасной отработки слепых рудных залежей на железорудных месторождениях Горной Шории и Хакасии [Текст]. – Новокузнецк, 2006. – 58 с.

3 Серяков, В.М. К расчету напряженно-деформированного состояния массива горных пород над выработанным пространством [Текст] / В.М. Серяков // ФТПРПИ. – 2009. – № 5. – С. 21 – 28.

4 Шрепп, Б.В. Управление геомеханическими процессами при разработке мощных удароопасных железорудных месторождений изменением геометрии и формы выработанного пространства [Текст] : автореф. дисс. … д-ра техн. наук. – Новосибирск, 1996. – 48 с.

5 Курленя, М.В. Техногенные геомеханические поля напряжений [Текст] / М.В. Курленя, В.М. Серяков, А.А. Еременко. – Новосибирск: Наука, 2005. – 264 с.

6 Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 536 с.

7 Фадеев, А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике [Текст] / А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1987. – 221 с.

8 Серяков, В.М. Об одном подходе к расчету напряженно-деформированного состояния массива горных пород в окрестности выработанного пространства [Текст] / В.М. Серяков // ФТПРПИ. – 1997. – № 2. – С. 14 – 21.

9 Серяков, В.М. Расчет напряженного состояния горных пород с учетом последовательности возведения закладочного массива [Текст] / В.М. Серяков // ФТПРПИ. – 2001. – № 5. – С. 21 – 28.

10 Лобанова, Т.В. Прогноз горных ударов при отработке месторождений в геодинамически активных зонах (на примере Таштагольского рудника) [Текст] : автореф. дисс. … канд. техн. наук. – Кемерово, 1992. – 24 с.

УДК 622.794

ОЧИСТКА ШАХТНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОНКОСЛОЙНЫХ ОСВЕТЛИТЕЛЕЙ

[1]Саранчук Э.В., [1]д.т.н. Сенкус В.В., [2]д.т.н. Стефанюк Б.М.
1 - ООО «Сибниуглеобогащения»,
г. Прокопьевск, Россия
2- Кемеровский государственный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются способы и технические средства очистки шахтных вод от тонкодисперсных взвешенных частиц, а так же предложен тонкослойный осветлитель, который может использоваться в каналах потоков движения шахтных вод.

Ключевые слова: способ, устройство, очистка, шахтные воды, тонкодисперсные частицы, осветлитель.

Для очистки шахтных вод используются различные способы, реализованные на разных типах технических устройств. Основными используемыми способами очистки являются гравитационное осаждение в водосборниках и отстойниках, фильтрация через тело дамбы или различные фильтры, перелив через перегородки, что связано с необходимостью обработки больших объемов шахтных вод с расходом 100-800 $м^3$/ч.

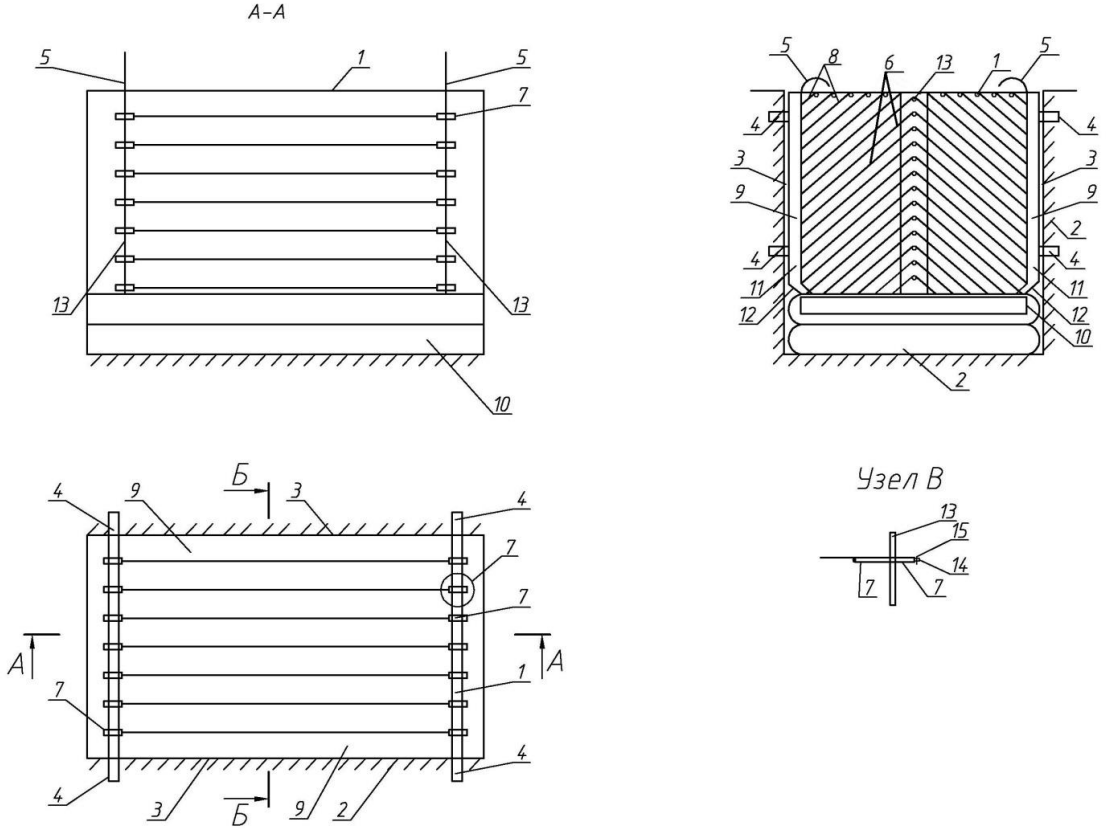
Другие способы малопригодны для очистки, ресурсо- и капиталоемки, при этом тонкодисперсные частицы класса 0,03-0,1 мм практически не выводятся при отсутствии ламинарного течения потока.

В работах [1-4] рассматриваются раличные типы тонкослойных осветлителей, осаждающих тонкодисперсные частицы, которые обладают рядом недостатков: зарастание шламом межпластинчатых зазоров в пакете, т.к. осаждение шлама идет во встречном потоке жидкости; низкая производительность отстойника; применение вибраторов пластин не позволяет осесть шламу на них; не учтены физические свойства частиц воды и пластин.

Целью настоящей работы является упрощение конструкции, технологичности изготовления и монтажа модульного устройства для очистки вод от тонкодиспрсных взвешенных частиц.

Решение поставленной цели достигается тем, что каркас устройства (рис. 1) выполняется по форме сечения емкости, куда оно помещается, борта которого закрыты и имеют на них крепления для удержания устройства в емкости, а сверху скобы для удобства монтажа устройств. Внутри каркаса монтируются параллельно друг другу на расстоянии 40-50 мм пластины, при этом центральные пластины выполняются разновеликими, цельными с углом изгиба 80-90°. С обоих сторон за под лицо с краями жестко крепятся втулки шар-

нирного соединения и покрываются электрически нейтральным материалом, а смещенные от центра пластины имеют втулки на верхних концах, угол наклона пластин с горизонтальной плоскостью составляет 45-50°.



1 – каркас устройства; 2 – емкость размещения устройства; 3 – борт каркаса;
4 – крепление; 5 – скоба; 6 – центральные пластины; 7 – втулка; 8 – смещенные пластины;
9 – зазор (канал); 10 – аккумулирующая емкость; 11 – защитные пластины каналов;
12 – скосы; 13 – центральные стойки каркаса; 14 – ось шарнирного крепления;
15 – штифт оси

Рис. 1. Модульное устройство для очистки шахтных вод от взвешенных частиц

Между бортами и нижними краями пластин имеются зазоры, равные межпластинчатому расстоянию, которые служат каналами для перепуска осевших частиц в аккумулирующую емкость, закрытыми для прямого потока воды спереди и сзади пластинами. Для предотвращения заиливания перепуска осевших частиц в аккумулирующую емкость предусматриваются у бортов скосы под углом 45-50° к горизонтальной плоскости. Крепление центральных пластин к каркасу производится с помощью жестко закрепленных на каркасе передней и задней центральных стоек, имеющих отверстия для шарнирного соединения, а смещенных пластин - непосредственно к верхним ребрам каркаса осями со штифтами. Колебание пластин обеспечивается установкой упоров на нижних ребрах каркаса и боковых пластинах на расстоянии 3-5 мм между собой для каждой пластины.

Работа устройства заключается в следующем.

Загрязненный поток воды входит в устройство между центральными 6 и смещенными пластинами 8 разбивается на слои, скорость течения которых равна скорости общего потока, при этом путь осаждения взвешенной частицы уменьшается в число раз, равное количеству пластин (n-1, взвеси потока под нижней пластиной осаждаются в аккумулирующую емкость).

Взвешенные частицы под действием сил гравитации осаждаются на пластины, тормозятся и по пластинам скатываются в закрытые от прямого потока защитными пласти-

нами 11 в зазоры (каналы) 9, где течение потока незначительное, и по ним и скосам 12 шлам перепускаются в аккумулирующую емкость 10, откуда выгружается механически.

Технический результат - упрощение конструкции, повышения технологичности изготовления и монтажа модульного устройства для очистки шахтных вод от тонкослойных взвешенных частиц.

Список литературы

1. Авторское свидетельство СССР №1172578. Тонкослойный гидроклассификатор. МПК B01D 21/24, 15.08.85. Бюл. №30.

2. Авторское свидетельство СССР №1223955. Тонкослойный отстойник. М. кл.^{3} ВОЮ 21124, 15.04.86. Бюл. №14.

3. Патент РФ №2162004. Способ осветления технологической воды в подземных водосборниках с механизированной очисткой. / В.В.Сенкус, С.Г.Фомичев, Вас. В. Сенкус, К.С.Фомичев. МПК B 01D 21/02. Заявл. 06.11.1998.

4. Патент РФ № 2329851. Устройство для очистки технологической воды от взвешенных частиц. МПК B 01D 21/02. Патентообл. и авторы Сенкус Вас.В., Фомичев С.Г., Сенкус В.В., Стефанюк Б.М., Сенкус Вал.В. Заявл. 31.01.2006. Опубл. 27.07.2008. Бюл. № 21.

УДК 622.273.33

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОТРАБОТКИ МОЩНОГО ПОЛОГОГО ПЛАСТА ПО ЭНДОГЕННОЙ ПОЖАРООПАСНОСТИ

к.т.н. Ермаков А.Ю.
ООО «Сибниуглеобогащения»,
г. Прокопьевск, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы эндогенного возгорания угля, приводятся результаты замера проб индексных газов при возгорании, выделяются участки выемочных столбов склонных к самовозгоранию, и даются рекомендации предупреждения самовозгорания угля.

Ключевые слова: оценка пожароопасности, технологическая схема, эндогенный пожар, самовозгорание, исследование, рекомендация

В настоящее время общепринятой количественной методики оценки эндогенной пожароопасности для технологической схемы выемки угля не существует. В специальной литературе имеются способы оценки эндогенной пожароопасности выемочных полей, склонности шахтопластов к самовозгоранию, отдельных факторов обуславливающих эндогенную пожароопастность. Критерием оценки является частота пожаров за определенный период или склонность угля к самовозгоранию (фактор химической активности). Влияние факторов учитывается посредством разного рода безразмерных величин, "условных факторных интенсивностей возникновения пожара", безразмерных координат поля одномерного пространства, величине "индекса воспламенения SZ^B", учитывающего химическую активность угля, "показателя R", основанного на сравнении скорости подвигания забоя [1] и др. Все методы основаны на использовании статистических данных за более или менее продолжительный промежуток времени в сходных условиях и однотипных технологических схемах добычи угля.

Оценка эндогенной пожароопасности технологической схемы с выпуском угля из подкровельной пачки в условиях пласта 21 шахты «Ольжерасская-Новая» применена впервые в угольной промышленности России.

Шахта «Ольжерасская-Новая» проветривается главной вентиляторной установкой (ГВУ) 4ВЦ-15, установленной на вентиляционном стволе. Схема проветривания пласта комбинированная, способ проветривания нагнетательный, система проветривания единая. На момент проведения воздушно-депрессионной съёмки на участок 21-1-5 подавалось 24,2м^3/с воздуха (расчётное количество составляет 22,4м^3/с), депрессия участка составляла 3,4 мм вод.ст.

Горно-геологическая характеристика пласта 21, с точки зрения эндогенной пожароопасности, характеризуется следующими данными. Мощность пласта - 6,5м, угол падения 8°. Строение пласта сложное, сдержит несколько породных прослоек мощностью от 0,05 до 0,1 м. В пределах выемочного столба имеется тектоническое нарушение типа «надвиг» с амплитудой Н=1,5 м. Уголь пласта относится к марке "ГЖО", подкровельная пачка угля представлена литотипом 3-го типа, средней нарушенности, неустойчивая, легкообрушаемая, мощность 3-3,5 м, предел прочности угля при сжатии 10 МПа.

Непосредственная кровля состоит из алевролитов, мощностью 6,1-8,2 м, от средней устойчивости и устойчивой. В пределах отрабатываемого участка непосредственная кровля сохраняет устойчивость на всём протяжении за исполнительным органом комбайна в течение 2-х часов.

Основная кровля - песчаник, мощностью 33-89 м, предел прочности при сжатии 70 МПа, почва пласта, мощностью 7,9-4,0 м, опасная по фрикционному трению, к пучению не склонная.

Пласт угля склонный к самовозгоранию, опасен по взрывчатости угольной пыли, по горным ударам угрожаемый с глубины 220 м, по внезапным выбросам угля и газа - с глубины 240 м. Глубина разработки пласта от дневной поверхности составляет 110 -130м.

Эндогенная пожароопасность обусловлена следующими факторами.

Отработка пласта на полную мощность с выемкой части пласта ведется комбайном комплекса ZF8000/55/35 фирмы "CODCO" (КНР) и обрушением подкровельной пачки, остающейся над крепью, что способствует потерям угля выработанном пространстве. В процессе выемки угля образуются концентрированные потери при обрушении подкровельной пачки над конвейерным и вентиляционным штреком.

Применяемая технология выемки угля, в совокупности с горно-геологическими условиями, предопределяет оставление в выработанном пространстве концентрированных потерь разрыхленного угля, что совместно с другими осложняющими факторами повышает опасность самовозгорания угля пласта 21.

Наиболее опасные зоны формирования самонагревания приурочены к краевым частям целиков и местам концентрированных потерь угля, в зонах движения утечек воздуха по выработанному пространству.

Для конкретных условий потенциально опасные места развития самонагревания определяются геологическими условиями и особенностями технологии выемки угля, а также продолжительностью периода, в течение которого краевые части целиков или концентрированные потери угля, подвергаются воздействию кислорода, определенной концентрации.

Процесс нагревания происходит при любом контакте кислорода с углем. Количество теплоты, которое выделяется за единицу времени при окислении единицы массы угля, определяется по формуле [2]

$$w=q_0\Delta Q \quad или \quad w=q_0UC, \qquad (1)$$

где w - удельная мощность тепловыделения, (Вт/кг); q_0 - удельная теплота сорбции кислорода, при поглощении 1 м^3 кислорода равна 15,6-10^6 Дж/м^3, $\Delta Q=UC$ - количество кислорода, поглощаемого единицей массы угля в единицу времени, пропорциональное объёмной доле кислорода C, U - константа скорости сорбции кислорода, м^3/(кг-с).

Анализ формулы (1) показывает, что в зависимости от объёмной доли кислорода меняется только количество тепла, выделяемое в единицу времени, но процесс окисления не прерывается. Образование очага горения зависит от тепловыделения и теплоотдачи.

Учитывая, что самонагревание в скоплениях угля происходит не равномерно (температурное поле выработанного пространства неизотропно [3]), отдельными сравнительно небольшими очагами, то изменение концентрации кислорода в отдельных частях угольного скопления создает очаги с повышенной температурой.

Подобный характер самонагревания обусловлен неоднородностью фильтрационных (например: расслоение газов по высоте, большая концентрация на путях с более интенсивной фильтрацией, в местах с большей воздухопроницаемостью, разностью депрессий по выработанному пространству, и др.), сорбционных и теплопроводных свойств угольного скопления. Этому способствуют и различие условий, в которых формируется нагревание.

Интенсивность окисления и тепловыделения зависит от температуры, а температурное поле, в силу естественных причин и различности в скоростях окисления, не равномерно. В очагах повышенной температуры, в виду естественного теплообмена, температура начинает выравниваться с температурой окружающей среды, и дальнейшее развитие нагретых очагов зависит от соотношения скоростей изменения тепловыделения (генерации теплоты) и теплоотдачи (рассеивания теплоты).

На основе общих принципов формирования очагов самонагревания, особенностей технологии выемки угля для пласта 21 можно выделить участки, потенциально опасные по самонагреванию.

Участок между газодренажным и вентиляционным штреками – это часть выработанного пространства, находящаяся в зоне концентрированных потерь.

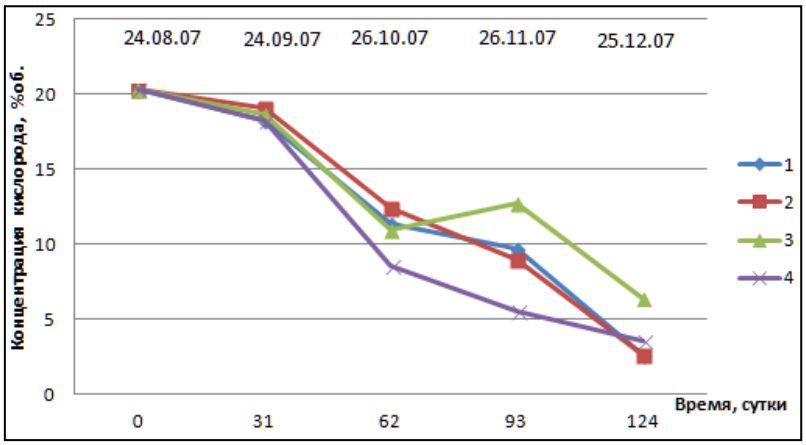
Потери угля при выемке по технологии с выпуском подкровельной пачки концентрируются вдоль краевых частей целиков при обрушении пачки после отхода комплекса (при передвижке переходных секций). Потери значительной массы могут сформироваться между шагами выпуска пачки угля. При возвратноточном проветривании исходящая из лавы струя разделяется на три потока, часть воздуха движется по лаве к вентиляционному штреку, часть движется за крепью по выработанному пространству на вентиляционный штрек и часть движется за крепью по выработанному пространству на газодренажный штрек. Если движение воздуха по лаве, относительно стабильно (аэродинамическое сопротивление лавы можно принять постоянным), то распределение воздуха, между газодренажным штреком и вентиляционным штреком, при движении по выработанному пространству, будет зависеть от величин депрессии и изменения аэродинамического сопротивления между этими выработками, которые. не могут быть стабильны длительное время, что подтверждается замерами воздуха.

Штреки отстоят друг от друга на расстоянии 20 м по падению и на 3,5 м по мощности пласта, между ними формируется "застойная зона", в которой снижается вынос тепла за счёт снижения фильтрации воздуха [4].

Соотношения скоростей тепловыделения (генерации теплоты) и теплоотдачи (рассеивания теплоты) не устойчиво и может изменяться в сторону накопления тепла и дальнейшее развитие очагов нагревания зависит от скорости перемещения «застойной зоны». При медленном подвигании лавы концентрация кислорода в районе концентрированных потерь, у вентиляционного и газодренажного штрека может оставаться достаточной для интенсивного развития очага самовозгорания.

Особенность аэродинамических условий пласта 21 заключается в том, что выработки с исходящей струёй смещены и по мощности пласта, при этом движение воздуха по выработанному пространству, может менять направление в вертикальной плоскости. Утечки воздуха по выработанному пространству, в районе вентиляционного штрека, могут менять, естественное для возвратноточной схемы проветривания, направление. Движение утечек от конвейерного штрека может полностью сместиться к дренажному штреку. При этом в зоне, примыкающей к межштрековому целику, у вентиляционного штрека образуется "застойная зона", в которой концентрация кислорода длительное время будет превышать 7%.

На рис. 1 показано изменение концентрации кислорода в верхней части выработанного пространства в зависимости от времени передвижения лавы. Анализ графиков показывает, что при наличии выработок (замеры производились за перемычками) концентрация кислорода длительное время превышает концентрацию, предусмотренную проектом (7% об).

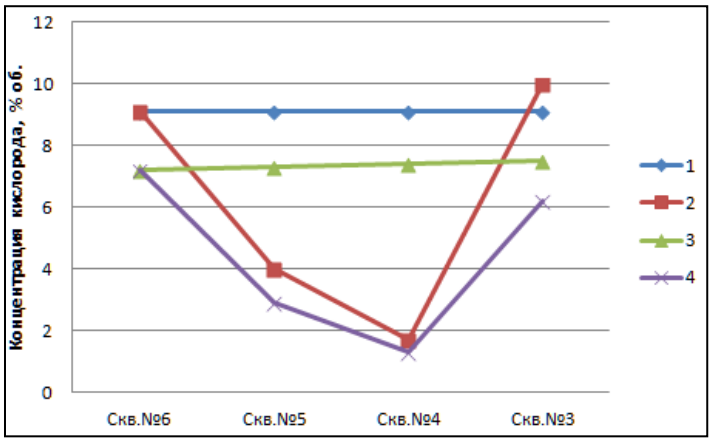


1 - концентрация кислорода на путевом уклоне за перемычкой №15
2 - концентрация кислорода на конвейерном уклоне за перемычкой № 16
3 - концентрация кислорода на вентиляционном уклоне за перемычкой № 14
4 - концентрация кислорода при отсутствии утечек воздуха за перемычки
Рис. 1. Графики изменения концентрации кислорода в выработанном пространстве в зависимости от времени передвижения лавы

Причины могут быть связаны с количественными изменениями утечек по выработанному пространству, поступлением воздуха за перемычки, снижением количества подаваемого азота. Формирование концентрации кислорода в выработанном пространстве происходит за счёт фильтрации, диффузии, разбавления метаном, и сорбции. Снижение концентрации кислорода, происходит вследствие разбавления за счёт газовыделения и сорбции углем и породой (эти факторы учитываются в расчётах). Поскольку основная масса метана концентрируется в верхней части выработанного пространства, влияние этого фактора в районе интенсивной фильтрации (вдоль околоштрековых целиков), не столь значительно. Концентрация кислорода выше, чем должна быть по расчёту и только через 60 суток расчётная и фактическая концентрация сравниваются. Концентрация кислорода в выработанном пространстве измерялась в профилактических скважинах. Результаты измерений приведены на рис. 2, а характеристика скважин - в табл 1.

В выработанном пространстве образуется купол обрушения, поэтому движение воздуха в верхней части отработанного пространства несущественное вследствие значительного объёма и высоты купола. В куполе происходит гравитационное расслоение, где в верхней части выработанного пространства концентрируются более легкие компоненты газовой смеси. Концентрация метана по скважинам имеет следующие значения: скважина № 6 (нижняя, у конвейерного штрека) C_{CH4} - 25%; скважина № 5 C_{CH4} - 33%; скважина № 4 C_{CH4} - 43%; скважина № 3 (верхняя, у вентиляционного штрека) C_{CH4} - 18%.

Концентрация кислорода в отработанном пространстве по пробам из скважин, пробуренных вдоль лавы (расстояние от лавы 62 м, время отхода от скважин ~ 35 суток), составляла: скважина № 6 (нижняя, у конвейерного штрека) C_{O2} - 9,2%; скважина № 5 C_{O2} - 3,9%; скважина № 4 C_{O2}- 1,7%; скважина № 3 (верхняя, у вентиляционного штрека) C_{O2} - 9,8%. Через 35 суток (расстояние от лавы 75 м, время отхода от скважин ~45 суток) скважина № 6 (нижняя, у конвейерного штрека) C_{O2} - 7,7%; скважина № 5 C_{O2} - 2,9%; скважина № 4 C_{O2} - 1,3%; скважина № 3 (верхняя, у вентиляционного штрека) C_{O2} - 6,4%.



1 - концентрация кислорода по расчету (35сут.)
2- концентрация кислорода по замеру (35сут.)
3 - концентрация кислорода по расчету (45сут.)
4 - концентрация кислорода по замеру (45 сут.)

Рис. 2. Изменение концентрации кислорода по скважинам при отходе лавы от линии скважин через 35 и 45 суток

Таблица 1

Характеристики профилактических скважин

Номер скважины	3	4	5	6
Поглощение бурового раствора, повышенное газовыделение, м	84	90	100	106
Глубина бурения, м	124.7	132	143	123,3
Кровля пласта, глубина от поверхности, м	125	136	148	148
Расстояние от зоны повышенного дренажа газов до кровли пласта, м	40,7	42	48	42,7
Расстояние от глубины бурения до кровли пласта, м	0,3	4	5	14,7

Происходит расслоение концентраций газов и фильтрационных потоков. Газы с большим объемным весом, концентрируются в нижней части отработанного пространства, примерно до уровня дренажного штрека. Концентрация кислорода в этой части превышает среднюю величину, в зоне более активного проветривания (у целиков), концентрация кислорода будет выше, чем в средней части лавы.

С учетом "застойных зон", высокая концентрация в выработанном пространстве в районе вентиляционного штрека создаёт более высокую вероятность развития самонагревания.

Результаты приповерхностной радоновой съёмки косвенно подтвердили возможность подобного развития самонагревания. Замеры радоновой съёмки, выполненной РосНИИГД, показали наличие радоновых аномалий в районе газодренажного штрека, сформировавшихся в период снижения скорости подвигания лавы, когда средняя скорость подвигания составляла примерно 40 м/мес (проектом предусмотрена скорость подвигания 60 м/мес и более).

Участок перехода геологического нарушения в районе вентиляционной печи характеризуется наличием дизъюнктивного нарушения и концентрированных потерь угля, подвергшихся механической деструкции, а также снижением скорости подвигания лавы. Время, от перехода геологического нарушения в районе вентиляционной печи 21-1-5 до обнаружения повышенного содержания индикаторных газов, превышает время инкубационного периода самовозгорания угля. При переходе лавой вентиляционной печи 21-1-5

подача азота для снижения кислорода в выработанном пространстве была недостаточно эффективна, так как большая часть его выносилась по вентиляционной печи, вследствие чего в выработанном пространстве сформировалась область с повышенным содержанием кислорода. Перечисленные факторы способствовали формированию области самонагревания угля.

При контрольном отборе проб шахтного воздуха были обнаружены индикаторные газы (оксид углерода, водород) в концентрациях, превышающих фоновые значения. Повторный отбор проб подтвердил появление повышенного содержания индикаторных газов. По двум скважинам № 2 и № 3, пробуренным в купол обрушения в верхней части выработанного пространства, концентрация газов была следующей. Набор пробы: скважина № 2 CO_2 - 0,2; O_2 - 1,3; CO - 0,00; H_2 - 0,0037; CH_4 - 57,5; C_2H_4 -0,00003; C_2H_2 - 0,0; C_3H_6 - 0,0; скважина № 3 CO_2 - 0,1; O_2 - 13,9; CO - 0,0007; H_2 - 0,0039; CH_4 - 11,5; C_2H_4-0,0; C_2H_2 - 0,0 C_3H_6 - 0,0.

Ориентировочный расчёт температуры нагревания по концентрации этилена составил 59,8°С, по концентрации оксида углерода 55,8°С.

Участок перехода центральных уклонов. Лавой 21-1-5 осуществлялся переход путевого, конвейерного уклонов, нижней части вентиляционного уклона и сбойки с вентиляционного штрека 21-1-5 на конвейерный штрек 21-1-3. Уклоны были изолированы от выработанного пространства перемычками № 10, № 11 № 12 (низ), №14, №15, №16, №17 (верх). При плановом отборе проб из-за перемычек, изолирующих выработанное пространство, было обнаружено повышенное содержание оксида углерода.

Из-за перемычки № 14 (на вентиляционном уклоне) CO=0,0024%, из-за перемычки №15 (на путевом уклоне) CO=0,0007%, из-за перемычки № 16 (на конвейерном уклоне) CO=0,0017%. Расстояние между уклонами в нижней части составляет 50 м. Участок до заезда на путевой уклон (≈70м) постоянно находился в зоне активного проветривания. Переход длился примерно 1,5 месяца, что сопоставимо со временем инкубационного периода самонагревания. В процессе перехода имели место значительные потери угля. Возникло дополнительное поступление воздуха через изоляционные перемычки. Согласно замерам вентиляционного давления перепад между перемычками № 1 и № 15 (путевой уклон) составляет 23,5 Па (2,4 мм вод. ст.), что создаёт направленные утечки воздуха и способствует развитию самонагревания угля.

Данные набора пробы на конвейерном уклоне: CO_2 - 0,1; O_2 -16,7; CO - 0,0026; H_2 - 0,00; CH_4 -1,1; C_2H_4 - 0,00003; C_2H_2 - 0,0 C_3H_6 - 0,0. Ориентировочный расчёт температуры по концентрации этилена составил 59,8°С, по концентрации оксида углерода 71,3°С.

По всем точкам, в которых проводился отбор проб воздуха, концентрации CO снизилась, что обусловлено отходом лавы и мерами, принимаемыми для предотвращения развития самонагревания. Данные набора пробы составляют: CO_2 - 0,1; O_2 -12,7; CO - 0,0019; H_2 - 0,00; CH_4 - 1,6; C_2H_4 - 0,0; C_2H_2 - 0,0; C_3H_6 - 0,0.

Расчёт температуры по концентрации оксида углерода показывает, что температура снизилась до 65°С и находится на уровне "критической", которая составляет 60-70°С.

Следующая потенциально опасная зона будет наблюдаться при подходе лавы к фланговым уклонам, при переходе сбоек с дренажного штрека на конвейерный штрек 21-1-5, и сбойки с вентиляционного штрека 21-1-5 на конвейерный штрек 21-1-3, где возможно эпизодическое появление индикаторных газов: оксида углерода в концентрациях 10^{-3}% об., водорода в концентрациях 10^{-4}÷10^{-5}% об., непредельных углеводородов в концентрациях 10^{-5}–10^{-6} % об.

Установлено, что отработке пласта 21 с выпуском подкровельной пачки угля наиболее вероятными участками с возникновением эндогенных пожаров являются (рис. 3): районы монтажных и демонтажных камер; участки с дизъюнктивными нарушениями; участки в отработанном пространстве, примыкающие к вентиляционному и конвейерному штрекам; зона между вентиляционным и газодренажным штреками.

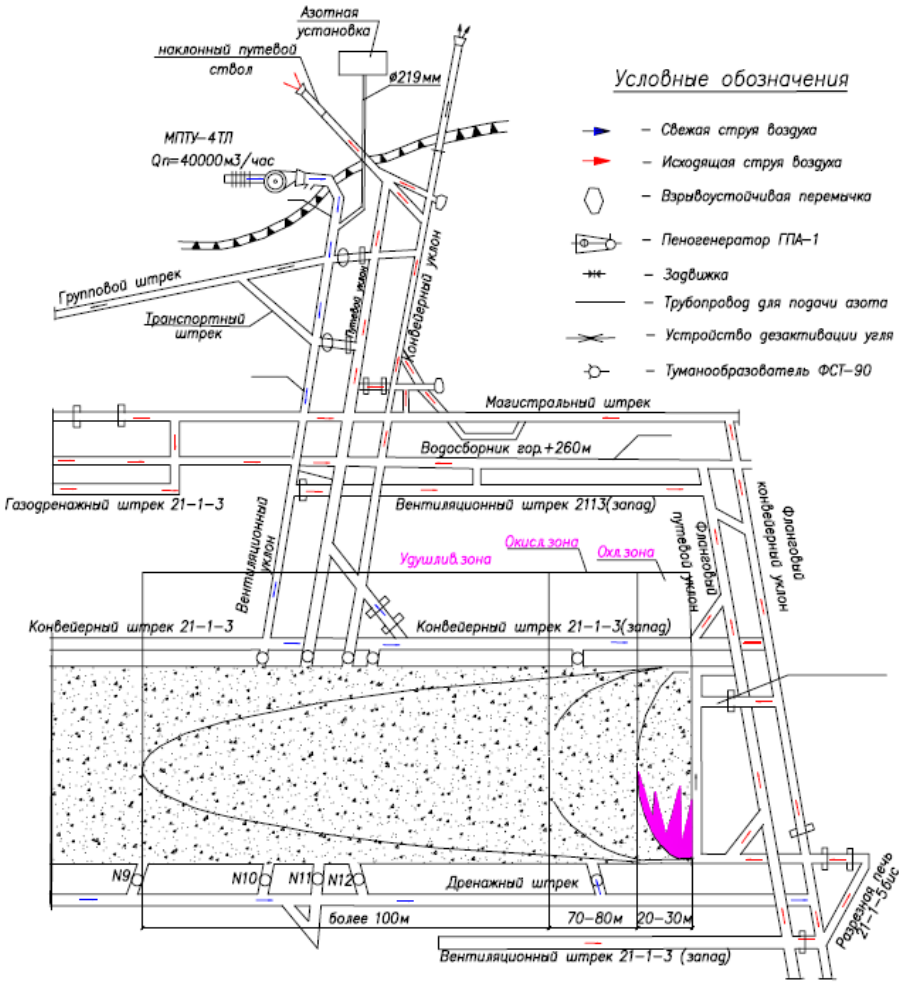


Рис. 3. Схема подачи азота (инертной пены) в лаву 21 -1 -5

Подача газообразного азота в выработанное пространство:

- трубопровод диаметром 219 мм; объем не менее 24000 м^3/сутки.

Подача инертной пены в завальную часть конвейерного и вентиляционного штреков:

- по перфорированному трубопроводу; количество пеногенераторов – 2 шт.; объем подаваемой инертной пены – 200 л/сут (одним пеногенератором); 400 л/сут (двумя пеногенераторами);

- режим подачи инертной пены в отработанное пространство выемочного столба:

I, III смены по конвейерному штреку 21-1-5;

II, IV смены по вентиляционному штреку 21-1-5.

Исследования теплового состояния целиков угля проводились при отработке выемочного столба 21-1-5 "Шахты Ольжерасская-Новая" (рис.3), который оконтурен следующими выработками: с восточной стороны монтажной камерой, целик между монтажной камерой и центральным путевым уклоном – 170 м; с западной стороны фланговый путевой уклон, целик между демонтажной камерой и фланговым путевым уклоном по проекту – 30 м; конвейерным штреком 21-1-5, целик между конвейерным штреком 21-1-5 и дренажным штреком – 25 м; вентиляционным штреком 21-1-5, целик между вентиляционным штреком 21-1-5 и конвейерным штреком 21-1-3 – 20 м.

Самонагревание угля в целиках в выработанном пространстве трудно отличить от нагревания скоплений угля приуроченного к краевым частям целиков.

Самонагревание угля в целике имеет некоторые особенности, а именно: нагревание происходит в режиме без выделения индикаторных газов в концентрациях, доступных наблюдению. При нагревании целиков газовая фаза отсутствует до возникновения крити-

ческой температуры 70-80°С, поэтому необходима фильтрации воздуха через целик, без которой нагревание невозможно, а целик должен иметь определенный объём трещин.

В угольном скоплении низкотемпературное окисление угля возможно за счёт диффузии кислорода.

При достаточной длительности процесса окисления температура может достигнуть критической величины. В целиках микротрещины не доступны для большинства газов, проникновение кислорода в трещины возможно только при фильтрации воздуха через целик за счёт искусственно созданной разницы давления.

Самонагревание целиков связано с деформацией и образованием трещин, которое происходит под влиянием горного давления в период возникновения геологических нарушений и в процессе горных работ.

Следует отметить, что ширина целика не исключает деформации и растрескивания краевых частей целиков. Если целик примыкает к выработке, по которой движется воздух, то под действием депрессии в краевой части целика возникает фильтрация (движение воздуха).

В условиях участка 21-1-5 к краевым частям межштрековых целиков со стороны отработанного пространства примыкают концентрированные потери угля, что обусловлено технологией и визуально наблюдается в процессе работы. Поэтому вероятность возникновения самонагревания в целике меньше, чем в угольном скоплении. Нагревание может возникнуть на границе целика и угольного скопления в зоне повышенного давления.

По технологии отработки выемочного столбав отработанное пространство для снижения концентрации кислорода подается азот 2000 $м^3$/час. Концентрация кислорода на расстоянии 149 м от лавы не превышает 7% об.

Распределение концентраций кислорода в глубину выработанного пространства имеет следующие максимальные значения (длина последующей зоны принимается от конца предыдущей): 1-я зона, концентрация CO_2 более 18% максимальное расстояние 20-30 м; 2-я зона, концентрация CO_2 от 18% до 10% максимальное расстояние 80-90 м; 3-я зона, концентрация CO_2 менее 10%, максимальное расстояние более 90 м.

Фактические замеры концентрации кислорода в отработанном пространстве по скважинам показали, что концентрации не превышают 5% об. При снижении кислорода ниже 5% реакция окисления в целиках резко замедляется, в этом случае нарастание температуры замедляется и устанавливается равновесие в тепловом балансе [5].

По отбору проб шахтного воздуха из отработанного пространства в скважинах, пробуренных вдоль лавы от вентиляционного штрека до конвейерного штрека (рис. 4), концентрация кислорода имела следующие значения: скважина № 1 - ≥ 2,2%; скважина № 2 - ≥2%; - скважина № 3 - ≥2,6%; скважина № 4 - ≥4,7%; скважина № 5 - ≥ 4,7%; скважина № 6 - ≥ 5,6%.

При расстоянии 70-80 м между скважиной № 6 и лавой концентрация кислорода была в пределах 5,6 - 9,5%.

Результаты замеров количества кислорода по скважинам подтверждают, что концентрация кислорода в основном не превышает 5%, при которой реакция окисления практически приостанавливается.

Наблюдения за самонагреванием целика у монтажной камеры 21-1-5 показали следующее.

Целик у монтажной камеры в силу значительной величины может нагреваться в краевой части со стороны отработанного пространства. В контрольной скважине № 1 в районе монтажной камеры, которая находится в 10 м от нее, направление движения воздуха по скважине подвержено сезонным колебаниям.

При отходе лавы на 170-190 м концентрация кислорода снизилась до 9-8,5%. Затем направление движения воздуха по скважине изменилось, отбор проб не производился, концентрация кислорода находилась в пределах 0,7-2,3%.

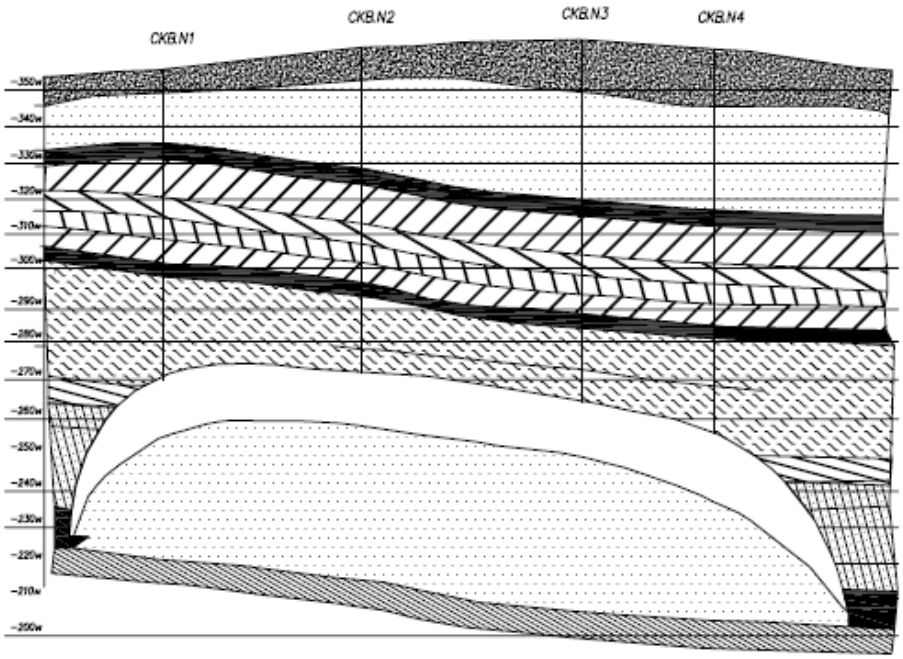


Рис. 4. Схема бурения технологических скважин в отработанное пространство лавы 21-1-5

Время с начала работ до снижения концентрации кислорода до уровня 9-8,5% составило 67 суток, что превышает время инкубационного периода, поэтому, повышение температуры вследствие низкотемпературного окисления могло происходить. При отборе пробы воздуха был обнаружен водород в концентрации 0,0012%. Наличие водорода отмечено и в других пробах, а оксид углерода не был обнаружен.

Отсутствие в пробах оксида углерода даёт основание считать, что нагревание целика демонтажной камеры за счёт сорбции кислорода не происходит. Температура в напряжённой краевой части целика может быть повышена за счёт действия горного давления, особенно в зоне геологического нарушения. Появление водорода может быть связано с механической деструкцией угля, оставшегося в концентрированных потерях угля.

Концентрация кислорода в отработанном пространстве при отходе лавы на 100 м (за вторую зону), в большинстве случаев, не превышает 3%, т.е. самонагревание целиков в отработанном пространстве маловероятно.

Исключение составляют сбойки, соединяющие выработанное пространство с действующими выработками, и часть целиков, попавших в зону геологического нарушения пласта, которые вследствие деформации могут иметь значительную воздухопроницаемость.

Представленные материалы исследований позволяют сделать следующие выводы.

Концентрация кислорода в отработанном пространстве при обработке выработанного пространства газообразным азотом при отходе лавы на 10 м (за вторую зону) не превышает 3%.

Самонагревание целиков угля в выработанном пространстве является маловероятным.

Самонагревание в целиках в зоне изоляционных перемычек и местах геологических нарушений возможно при достаточной воздухопроницаемости в целиках и депрессии на участке более 3,4 мм.вод.ст (34 Па), в сбойках с дренажного штрека в выработанное пространство - около 12 мм.вод.ст. (около 120 Па). При меньшей депрессии проницаемость целиков шириной 20-25 м является недостаточной для самовозгорания.

Нагревание целиков возможно в зонах, повышенной трещиноватости, повышенного горного давления, в районе сбоек у перемычек.

Мониторинг теплового состояния целиков необходимо проводить с помощью термодатчиков, устанавливаемых в специально пробуренные скважины.

Список литературы

1. Игишев В.Г.. Борьба с самовозгоранием угля в шахтах. - М.: Недра, 1987.

2. Глузберг Е.И., Гращенков Н.Ф., Шалаев В.С. Комплексная профилактика газовой и пожарной опасности в угольных шахтах. – М.: Недра, 1988.

3. Скрицкий В.А., Федорович А.П., Храмцов В.И. Эндогенные пожары в угольных шахтах, природа их возникновения, способы предотвращения и тушения. - Кемерово, Кузбассвузиздат, 2006.

4. Беляев В.И., Ледяйкин Е.С.. Борьба с авариями в шахтах. - Кемерово, Кузбассвузиздат, 2007.

5. Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров в шахтах Кузбасса. – Кемерово, 2007г.

УДК 622.338.91

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ЛОКАЛЬНЫХ УЧАСТКОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ермаков Е.А.
ООО «Сибниуглеобогащения»,
г. Прокопьевск, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются технологические схемы разработки локальных участков угольных месторождений и обоснованы их параметры.

Ключевые слова: технологические схемы, эксплуатационный блок, обоснование параметров, камера, зависимость.

В технологических схемах эксплуатационных блоков-модулей для отработки локальных участков месторождений могут применяться следующие системы разработки:

- длинными столбами с управлением кровлей полным обрушением пород и отработкой пласта длинными комплексно-механизированными забоями (ДСО);
- короткими столбами с управлением кровлей податливыми угольными целиками и отработкой пласта короткими забоями (КСО);
- комбинированные.

Особенностями применения ДСО в условиях эксплуатационных блоков-модулей является несоответствие параметров системы разработки оптимальным, что связано с геометрическими параметрами выемочных полей и участков. В этих условиях длина выемочного столба соответствует максимальной длине шахтного (выемочного) поля. Длина лавы зависит от наличия и укомплектованности секциями очистного механизированного комплекса. У малых шахт возможности приобретения нового оборудования длинного КМЗ стоимостью до 300 млн. руб. ограничены, поэтому в очистном забое монтируется физически, а иногда и морально устаревшее очистное оборудование, при этом длина лавы регламентируется количеством работоспособных секций крепи и забойного конвейера.

Длина лавы на малых шахтах принимается в пределах 60-150 м. Схема подготовки шахтного поля панельная однокрылая. Выемочные выработки охраняются ленточными угольными целиками, в качестве которых принимаются барьерные, предохранительные или профилактические целики.

В условиях модульных эксплуатационных блоков рекомендуются следующие параметры системы разработки длинными столбами с полным обрушением пород кровли и выемкой пласта (слоя) длинными комплексно- механизированными забоями:

- длина столба 300-1000 м;
- длина лавы 60-150 м;

- вынимаемая мощность пласта (слоя) 1,30-4,20 м;
- ширина угольных целиков между выемочными столбами 6-20 м;
- нагрузка на КМЗ 1200-3000 т/сут.

Технологические параметры систем разработки короткими столбами с управлением кровлей податливыми угольными целиками и отработкой пласта короткими забоями рекомендуется принимать с учетом параметров выемочного забойного и транспортного оборудования при ограничениях по условиям безопасности, горно-геологическим и горнотехническим факторам.

Основными параметрами систем разработки являются ширина камеры и угольных целиков, при их оптимизации принимается максимальная ширина камеры и минимальная ширина целика. Отношения этих параметров влияют на основной показатель систем разработки с короткими забоями - коэффициент извлечения угля. Для определения зависимости коэффициента извлечения разработан следующий алгоритм.

В гравитационном поле напряжений при бесконечно большой площади выработанного пространства должно соблюдаться условие равновесия сил горного давления и сопротивления на сжатие угля в узких целиках

$$\gamma H S_k = \sigma_{сж} (S - S_k),$$

где γ - плотность пород; H - глубина разработки; $S_к$ - площадь камер; S - полная площадь выработанного пространства, включающая площадь камер и целиков; $\sigma_{сж}$ - предел прочности угля при сжатии.

По отношению площади камер к общей площади выработанного пространства определяется коэффициент извлечения угля.

Приведенные на рис. 1 графики зависимостей позволяют оценивать по уровню потерь угля эффективность технологии отработки угольных пластов короткими забоями и выбирать оборудование для проведения камер и выемки угля в угольных столбах обратным ходом.

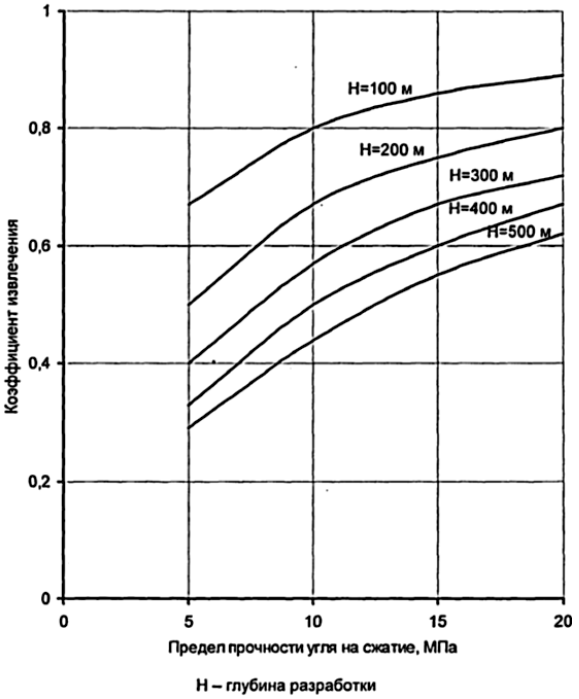


Рис.1. Графики зависимости коэффициента извлечения от прочности угля и глубины разработки при отработке угольного столба камерно-столбовой системой разработки

Ширина камер зависит от технических характеристик выемочной машины, в частности, ширины захвата исполнительного органа. Возможна выемка угля в камере с перемещением выемочной машины по ширине камеры. По опыту проведения монтажных камер для монтажа механизированного комплекса и опыту применения систем разработки с

короткими забоями на гидрошахтах и на шахтах с традиционной технологией можно рекомендовать на пологих пластах Кузбасса ширину камер в пределах 2,5-8,0 м, а на крутых пластах до 15 м.

Ширина и форма угольных целиков при прочих равных условиях существенно зависит от применяемой системы разработки: камерной или камерно-столбовой. При камерной системе разработки оставляются ленточные целики с минимальной шириной, равной мощности пласта, и максимальной шириной, равной ширине камер.

При камерно-столбовой системе разработки междукамерные столбы частично отрабатываются заходками при движении обратным ходом выемочной машины. В этом случае оставляются угольные целики полигональной формы между камерами и очистными заходками. Длина заходки (размер по перпендикуляру к оси камеры) зависит от многих факторов: устойчивости пород кровли, газоносности пласта, способа и схемы проветривания, способа крепления пород кровли, технической характеристики выемочной машины и др.

Очистная заходка проводится без крепления пород кровли, а ее размеры определяются по предельной площади устойчивых обнажений пород кровли и габаритам выемочной машины. Длину заходки при устойчивых породах кровли можно принимать равной расстоянию между режущим органом и пультом управления выемочной машины.

Проведенный анализ показывает, что на технологические параметры систем разработки угольных пластов короткими столбами оказывают влияние геомеханические параметры: максимальная площадь устойчивых обнажений пород кровли, минимальная ширина устойчивых угольных целиков, поэтому необходимо разработать их методику определения.

УДК 622.241:622.016.62:622.031-116:622.232.8-116

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН НА СКОРОСТЬ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ВЫЕМОЧНЫХ СТОЛБОВ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМИ ОЧИСТНЫМИ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Ванякин О.В.
ООО «Сибниуглеобогащение»,
г. Прокопьевск, Россия

Аннотация. В статье изложена актуальность проведения исследований зависимости темпов подвигания очистных забоев от влияния геологоразведочных скважин в границах отрабатываемых выемочных столбов, приведены сведения о темпах подвигания очистного забоя у скважин, результаты анализа влияния указанных скважин на скорость подвигания очистных забоев, соответствующие выводы.

Ключевые слова: геологазведочные скважины, очистной забой, подземные выработки, натурные исследования, вывалообразование, очисной забой, выемочный столб.

В настоящее время остается актуальной задача по определению влияния геологоразведочных скважин, расположенных в границах выемочных столбов, на скорость подвигания очистных забоев.

Бурение геологоразведочных скважин в границах шахтных полей осуществляется с целью уточнения их горно-геологического прогноза. По результатам бурения скважин производят уточнение мощности пластов угля и вмещающих пород в границах шахтного

поля, определяют прочностные и деформационные свойства угля и пород, слагающих углепородный массив, уточняют наличие горно-геологической нарушенности.

Задача определения влияния геологоразведочных скважин, отбуренных в границах выемочных столбов, на скорость подвигания очистных забоев является актуальной, так как при подвигании очистных забоев через участки пласта угля с наличием скважин происходит снижение темпов подвигания забоя (вывалообразования, простои очистных забоев), а соответственно и снижение уровня добычи.

В настоящее время на каждой шахте, в соответствии с требованиями действующих нормативных документов [1], разрабатывается порядок (мероприятия) по безопасному ведению горных работ при переходе геологоразведочных скважин очистным комплексно-механизированным забоем.

При разработке инженерно-технической службой шахты рабочих проектов, паспортов и др., в настоящее время предусматриваются следующие мероприятия (технология ведения работ), обеспечивающие безопасные условия ведения работ при подсечении скважин (затопленных пространств) в очистном забое [1]:

- для незатампонированных или некачественно затампонированных скважин, в отделе главного маркшейдера производят построение опасных зон, которые в дальнейшем наносятся на планы горных выработок;
- при подходе очистного забоя к границе опасной зоны необходимо производить бурение опережающих шпуров в направлении скважины;
- отработка выемочных столбов под затопленным контуром незатампонированных геологоразведочных скважин необходимо производить после проведения подготовительных работ по очистке водоспускных канавок перед возможным вскрытием геологоразведочных скважин и отводом воды по канавкам на участковый водоотлив;
- с указанными мероприятиями ознакамливаются рабочие и ИТР выемочного участка, которые осуществляют работы при переходе геологоразведочных скважин.

Натурные исследования перехода очистным забоем указанных скважин проводились на шахте им. С.М. Кирова ОАО «СУЭК-Кузбасс».

На момент проведения исследований горно-геологические условия залегания и физико-механические свойства углепородного массива пласта Поленовский шахты им. С.М. Кирова были благоприятны для механизированной выемки его запасов в выемочном столбе 25-93. Однако эффективность и безопасность отработки была осложнена наличием незатампонированных геологоразведочных скважин.

Для эффективной и безопасной отработки запасов выемочного столба №25-93 пласта Поленовский был предусмотрен указанный выше комплекс мероприятий для снижения или ликвидации указанного осложняющего ведение горных работ фактора.

Проведенные исследования показали, что соблюдение указанных мероприятий при подвигании очистного забоя у скважин, пробуренные с поверхности, влечет за собой снижение темпов ведения очистных работ в очистном забое в среднем на 20%, так как скорость подвигания очистного забоя на участке со скважиной, равным 20 м, составила 7-8 м/сут., а в благоприятных условиях подвигание очистного забоя на участке аналогичной протяженности составляет в среднем 9-10 м/сут.

Помимо шахты им. С.М. Кирова, дополнительно, для оценки влияния геологоразведочных скважин на темпы отработки выемочных столбов были проанализированы темпы подвигания очистных забоев шахты «Комсомолец» и «Полысаевская» ОАО «СУЭК-Кузбасс».

На рис. 1 - 3 представлены выкопировки с планов горных выработок указанных шахт с отображением информации о зависимости темпов подвигания очистных забоев от существующих геологоразведочных скважин.

На основе представленных данных произведен анализ влияния геологоразведочных скважин на темпы подвигания очистных забоев, результаты которых представлены в виде графиков (рис.4).

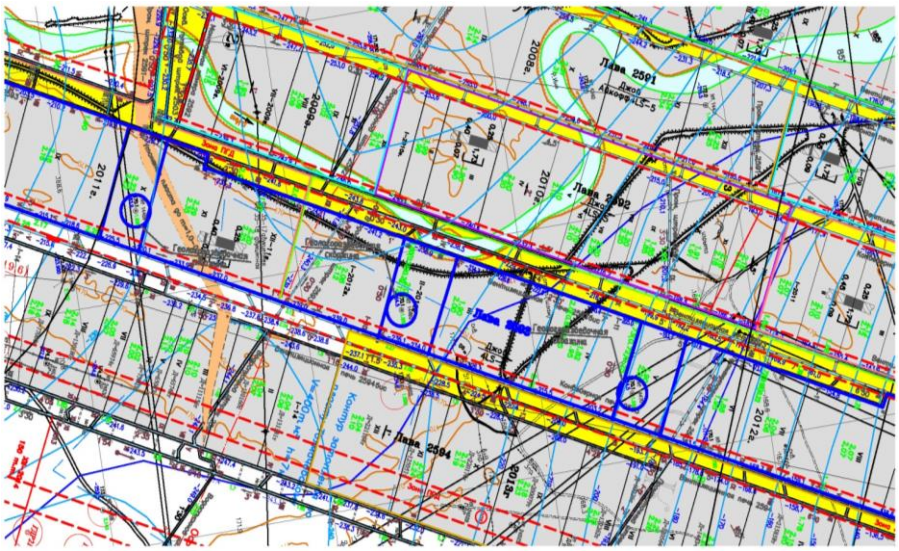


Рис. 1. Выкопировка с плана горных выработок шахты им. С.М. Кирова ОАО «СУЭК-Кузбасс»

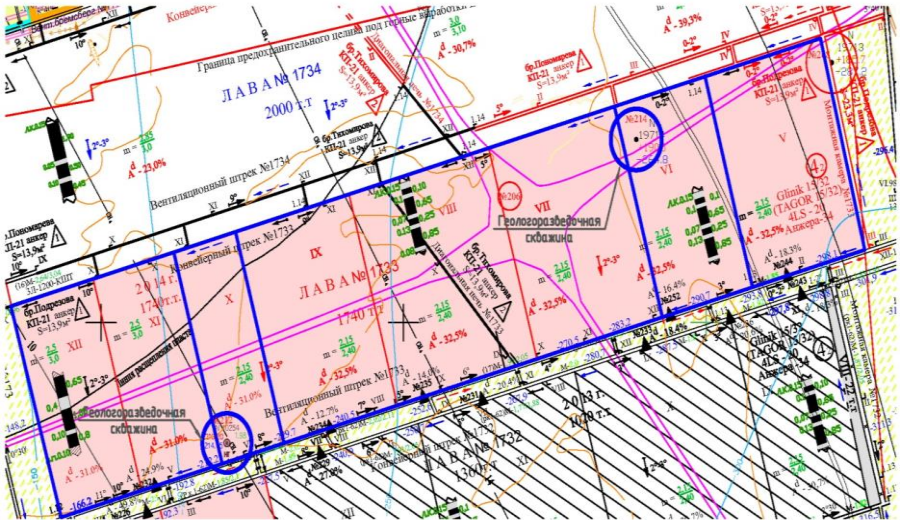


Рис. 2. Выкопировка с плана горных выработок шахты «Комсомолец» ОАО «СУЭК-Кузбасс»

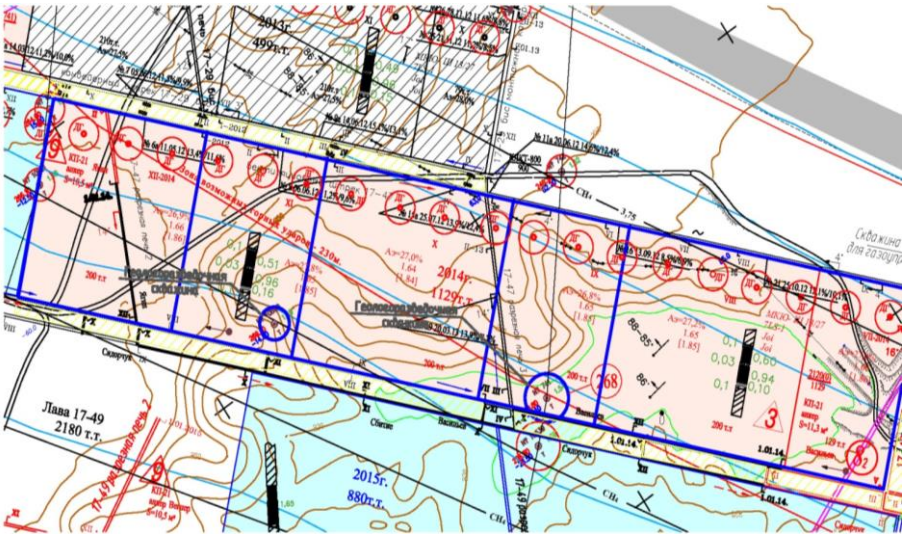


Рис. 3. Выкопировка с плана горных выработок шахты «Полысаевская» ОАО «СУЭК-Кузбасс»

На рис. 4 отображены зависимости месячной добычи в очистных забоях шахт им. С.М. Кирова, «Комсомолец», «Полысаевская» ОАО «СУЭК-Кузбасс» от опасных зон в окрестности геологоразведочных скважин в границах выемочного столба. Из графиков видно, что при переходе очистным комплексно-механизированным забоем геологоразведочных скважин, скорость подвигания забоя сокращается в среднем на 20-30%.

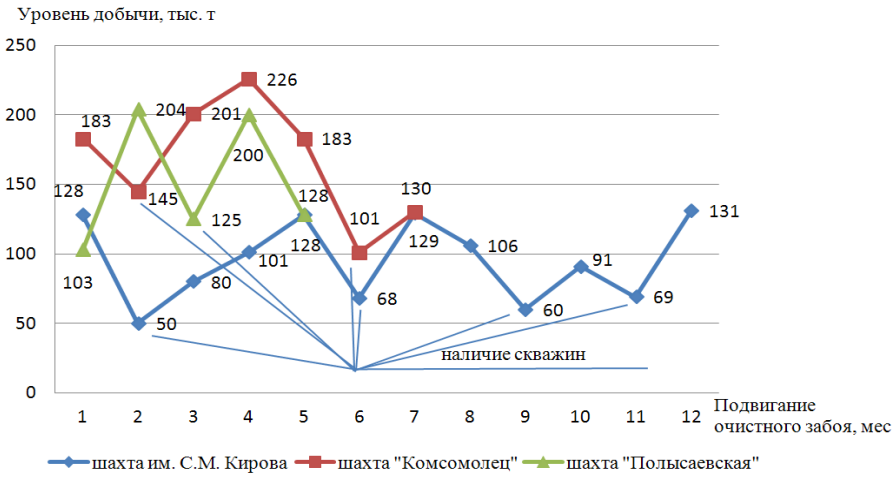


Рис. 4. Графики изменения объемов месячной добычи угля очистными забоями шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс»

На основании анализа данных о скорости подвигания очистных забоев шахт им. С.М. Кирова, «Комсомолец», «Полысаевская» ОАО «СУЭК-Кузбасс» можно сделать вывод о том, что:

- подвигание очистного забоя через геологоразведочные скважины приводит к снижению темпов подвигания очистного забоя, что может привести к вывалообразованию в очистном забое при увеличени опроного давления как на локальных участках, так и на участках большой протяженности;
- темпы подвигания очистных забоев при переходе геологоразведочных скважин очистным механизированным комплексом сокращаются в среднем на 20-30%;
- на этапе планировки шахтных полей необходимо учитывать расположение геологоразведочных скважин в межшрековых целиках угля.

Список литературы

1. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль: Сборник документов. Серия 07. Выпуск 8 / Колл. Авт. – М.: ЗАО «НТЦ исследование проблем промышленной безопасности», 2010. – 214 с .

УДК 622.882:628.33

ОБОСНОВАНИЕ ПОРЯДКА ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО ЩЕБНЯ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Барадулин И.М., д.т.н. Зеньков И.В.
Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука»,
Красноярский научный центр СО РАН,
г. Красноярск, Россия

Аннотация. В статье представлены научно и практически обоснованные геометрические формы и параметры отработанных карьерных выемок с учетом экологических интересов. На основе результатов полевых экспедиций, космического дистанционного зондирования и эколого-

математического моделирования достоверно установлена географическая ориентация нерабочих бортов щебеночных карьеров, учет которой обеспечивает ускоренное формирование и максимальную плотность лесной растительности. Рекомендовано при отработке месторождений общераспространенных полезных ископаемых формировать карьеры с максимальной площадью нерабочих бортов западной и северной экспозиций. Площадь дна карьера должна быть по возможности с минимальными размерами, обеспечивающими безопасную работу горно-транспортного оборудования на заключительном этапе открытых горных работ.

Ключевые слова: производство строительного и дорожного щебня, щебеночные карьеры, локальные растительные экосистемы, географическая ориентация нерабочего борта карьера, экологическая эффективность.

Экономическое развитие РФ обусловливает увеличение темпов гражданского и промышленного строительства, а также развитие логистической сети, в т.ч. автомобильных и железных дорог. Строительство новых дорог, а также их текущий и капитальный ремонт предполагает увеличение объема производства дорожного щебня, и в особенности на территории Сибири и Дальнего Востока, где необходимо в ближайшее время увеличить производство щебня до 25-30 млн. т в год. Щебень, применяемый в промышленном и гражданском строительстве, а также при создании транспортных коммуникаций с твердым покрытием, является незаменимым природным материалом, входит в группу общераспространенных полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом.

Гранитный щебень применяется в производстве бетона при сооружении ответственных сооружений плотин ГЭС, взлетно-посадочных полос в авиации, в производстве асфальта и т.п., т.е. на тех объектах, где необходимая высокая прочность оснований, фундаментов, стен зданий и сооружений. Щебень известняковый в производстве всех марок бетона не используют, но при сооружении насыпей в дорожном строительстве он является основным материалом. Рост объемов гражданского строительства, выполнение федеральной программы «Дороги России XXI век» обусловливают масштабную разработку месторождений как гранита, так и известняков. Красноярскому краю принадлежит особая роль в экономическом развитии РФ. На его территории расположены многочисленные карьеры по производству щебня на месторождениях гранита и известняка. Щебеночные карьеры, как правило, приурочены к местам его потребления.

В период 2010-2014 гг. авторами проведены полевые экспедиции по исследованию результатов естественного восстановления локальных экосистем на элементах ландшафтной архитектуры (межуступные площадки, откосы уступов и нерабочих бортов) отработанных карьеров по производству щебня в районе пгт. Зыково Красноярского края. В ходе экспедиций было выявлено полное отсутствие работ по рекультивации в отработанных карьерных выработках. Предварительный анализ состояния горнопромышленных ландшафтов в отработанных карьерных выработках указал на наличие определенных тенденций в появлении и развитии растительных экосистем на нерабочих бортах от их географической ориентации (запад, север, восток, юг), схематично представленных на рис. 1.

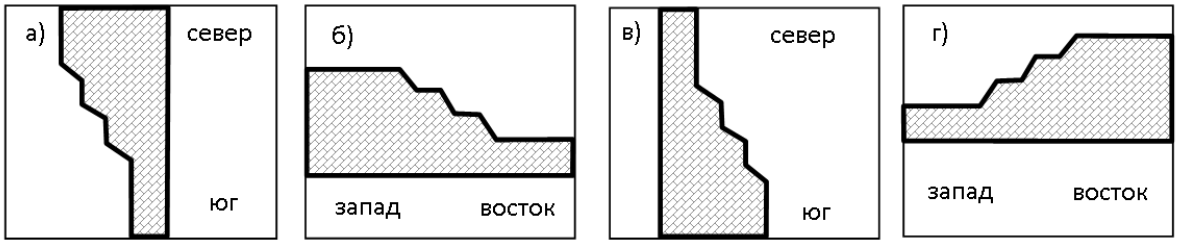


Рис. 1. Схемы ориентации нерабочих бортов карьера: а) южная экспозиция; б) восточная экспозиция; в) северная экспозиция; г) западная экспозиция

По генезису вовлеченные в разработку месторождения при производстве щебня состоят из основной горной массы примерно одного геологического возраста – известняки,

и небольшого объема рыхлых четвертичных осадочных отложений (лессовидные и покровные суглинки, глина), покрывающих известняки. Растительное окружение мест разработки месторождений характеризуется в равной степени видовым составом как лесостепной, так и подтаежной географической зоны. Месторождения известняков и доломитов, как правило, окружены смешанными лесами (береза, сосна, осина), а месторождения гранитов окружены в основном темнохвойными лесами (ель, пихта, кедр) с небольшой долей березы и осины. Промежуточный ярус в каждом случае – это подлесок из рябины, черемухи и т.п. По своим биоэкологическим свойствам представленная растительность весьма не приспособлена для поселения на открытых участках без почвенных слоев, какими являются буквально все элементы нерабочих бортов карьеров. В ходе экспедиций были также выявлены участки карьеров с почвенными слоями, намытыми с верхних уступов. Существующее многообразие участков карьера (углы откоса, наклон межуступных площадок, отсутствие/наличие почвенных слоев) учитывалось при проведении мониторинга по выявлению геометрических параметров нерабочих бортов карьеров с наилучшими показателями и оптимальных для поселения и произрастания растительности.

Основой для разработки рекомендаций по ведению открытых горных работ на месторождениях общераспространенных полезных ископаемых при постановке бортов в нерабочее положение выступили результаты горно-экологического мониторинга на территории отработанных карьеров в Красноярском крае. За критерий оценки при формировании экологически приемлемых геометрических параметров карьера приняты – временной период появления и плотность пионерной лесной растительности в увязке с действием природных факторов, ускоряющих эти процессы. В итоге порядком формирования карьерной выработки должна быть достигнута главная экологическая цель – это поселение и приемлемые темпы роста растительности повсеместно, на всех нерабочих бортах карьера, при этом заранее выполняют экологическую оптимизацию геометрических параметров формы карьерной выемки. Отдельной строкой отметим то, что месторождение щебня может быть отработано исходя из классических принципов – углы откоса уступов борта карьера составляют 70-80^0, разделяющие уступы горизонтальные предохранительные площадки имеют ширину 3-5 м (рис. 2а). Так, например, при размерах карьера по верху 500×500 м площадь горизонтальной проекции нерабочих бортов составит 9 га, а площадь дна карьера - 16 га.

В результате проведенных исследований установлено, что в отработанных карьерах идет образование мертвых водоемов из ливневых вод различной площади, а между ними население близлежащих населенных пунктов устраивает стихийные свалки бытовых отходов. В этой связи предлагается формировать карьерную выемку с минимальной площадью дна карьера. Принцип трансформации геометрических параметров карьера, способствующих ускоренному появлению и адекватный прирост стволовой части деревьев, представлен на рис. 2г. Показаны три нерабочих борта северной, восточной и южной экспозиций и один борт западной экспозиции, представленный широкими площадками и пологими откосами уступов. Ширина межуступных площадок и углы откосов уступов должны обеспечивать минимально допустимые по технологическим параметрам размеры дна карьера.

Для принятия решения о выборе экологически оптимальной формы карьера летом 2014 г. проведены очередные полевые экспедиции на территории отработанных карьеров (пгт. Зыково, Красноярский край) по выявлению плотности лесной растительности на нерабочих бортах различной географической ориентации.

Составлена выборка из участков по 0,2 га каждый, при этом учтена их географическая ориентация. Внимание было обращено на тот факт, что плотность деревьев меняется в несколько раз в зависимости от ориентации нерабочего борта карьера. Кроме того, на количество деревьев оказывает значимое влияние наличие почвенных слоев, состоящих из смеси гумусосодержащего почвенного слоя и четвертичных отложений (табл. 1), что было установлено в ходе полевых экспедиций.

На рис. 2г показана экологически оптимальная форма карьера, но она требует проверки. С этой целью рассмотрены возможные комбинации географической ориентации нерабочих бортов карьера с учетом накладываемых ограничений в виде смещения дна карьера относительно осей симметрии карьерной выемки (рис. 3).

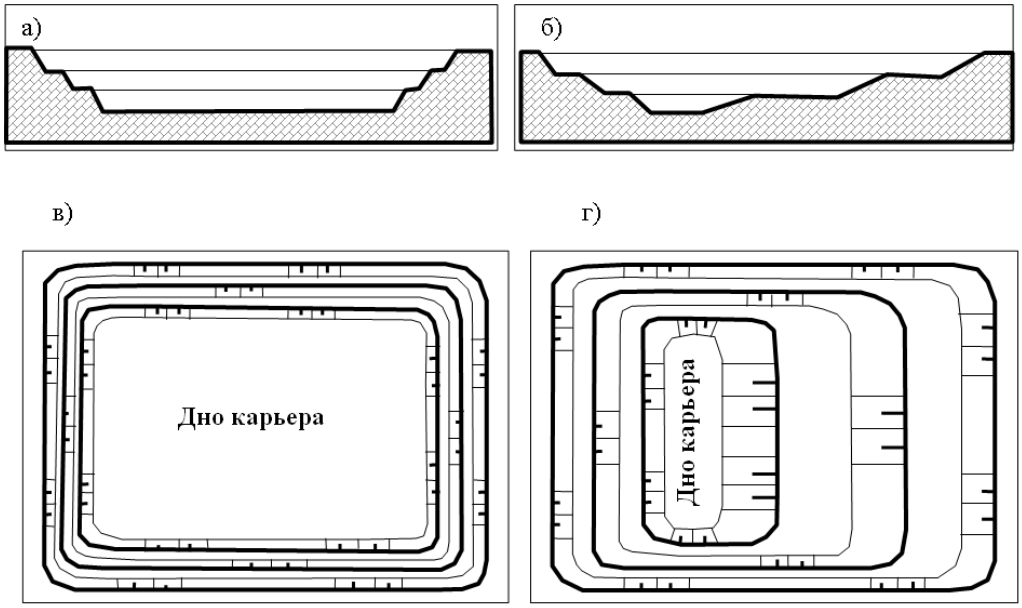


Рис. 2. Конструкция нерабочих бортов карьера: а) в применяемых технологиях; б) в технологиях с учетом экологических целей; в) на плане карьера, отработанного по классическим технологиям; г) на плане карьера, отработанного по авторским технологиям

Таблица 1

Численность взрослых деревьев на элементах нерабочих бортов карьера, ед./га

Элемент нерабочего борта карьера	Географическая ориентация нерабочего борта карьера			
	запад	восток	север	юг
Межуступные горизонтальные площадки без почвенного слоя	341	55	313	32
Межуступные площадки без почвенного слоя с уклоном 3-5 ^{0} в сторону выработанного пространства	293	47	272	25
Межуступные площадки без почвенного слоя с уклоном 3-5 ^{0} в сторону нерабочего борта	364	69	388	43
Межуступные горизонтальные площадки с почвенным слоем	587	102	533	55
Межуступные площадки с почвенным слоем и уклоном 3-5 ^{0} в сторону выработанного пространства	562	91	498	41
Межуступные площадки с почвенным слоем и уклоном 3-5 ^{0} в сторону нерабочего борта	610	117	561	62
Откосы уступов под углом 15-24 ^{0} без почвенного слоя	387	49	266	24
Откосы уступов под углом 15-24 ^{0} с почвенным слоем	502	87	434	37

Порядок отработки месторождения щебня может предполагать смещение дна карьера вдоль оси симметрии, ориентированной как в меридиональном, так и широтном направлениях.

Принимая во внимание установленные показатели растительных экосистем на нерабочих бортах различной географической ориентации (табл. 1) и расчетные площади этих бортов (табл. 2), получена прогнозная картина, представленная на рис. 4.

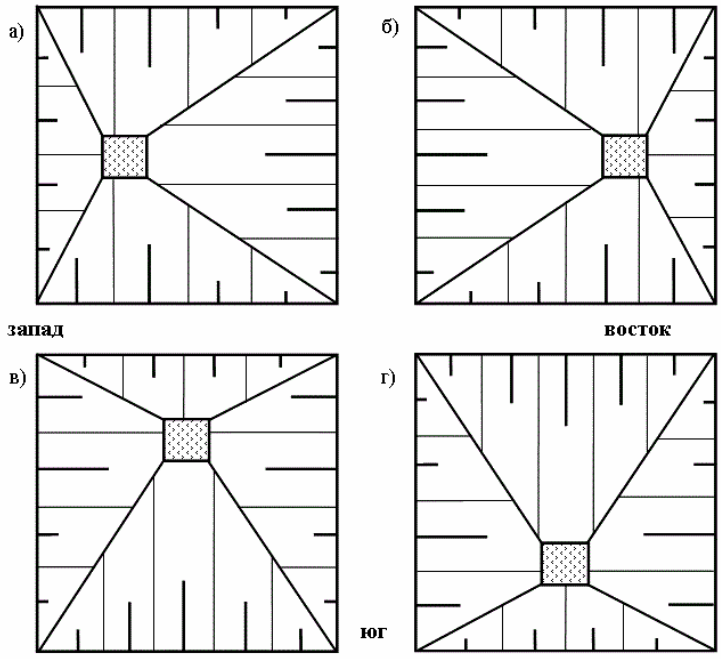


Рис. 3. Схемы постановки бортов карьера в нерабочее (финишное) положение с учетом географической ориентации (симметричное смещение центра дна карьера)

Таблица 2

Площадь нерабочих бортов карьера с учетом географической ориентации при симметричном смещении дна карьера

Географическая ориентация рельефа	Площадь, га							
	Экспликация А		Экспликация Б		Экспликация В		Экспликация Г	
	МП	ОУ	МП	ОУ	МП	ОУ	МП	ОУ
Запад	0,5	8,4	0,5	3,1	0,5	5,6	0,5	5,6
Север	0,5	5,6	0,5	5,6	0,5	8,4	0,5	3,1
Восток	0,5	3,1	0,5	8,4	0,5	5,6	0,5	5,6
Юг	0,5	5,6	0,5	5,6	0,5	3,1	0,5	8,4
Дно карьера	0,25		0,25		0,25		0,25	

Примечание: в таблице МП – межуступные площадки; ОУ – откосы уступов.

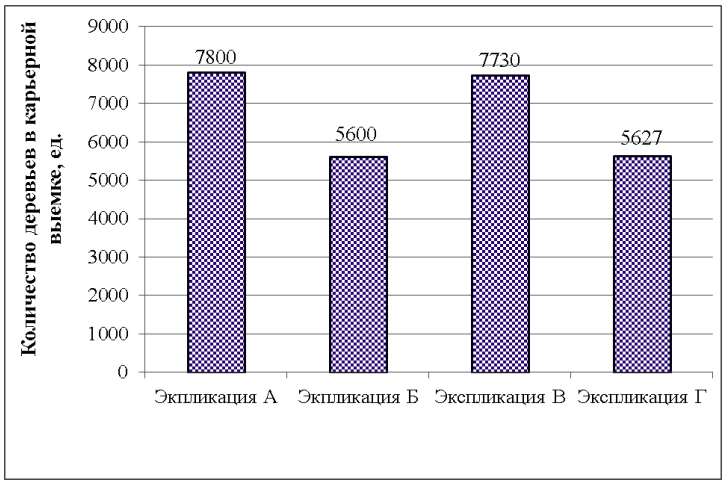


Рис. 4. Показатели прогнозной оценки формирования локальной растительной экосистемы в карьерной выемке при разработке месторождений строительного и дорожного щебня при симметричном смещении дна карьера

Достоверно установлено, что ускоренное появление древесно-кустарниковой и травянистой растительности (2-3 года) в отработанных карьерах, высокие годовые темпы ее прироста и уровень продуктивности на уровне природных ландшафтов наблюдается на откосах уступов всех карьеров с пологими углами их заоткоски, на межуступных площадках с уклоном в сторону нерабочего борта карьера и в значительной степени зависят от обеспеченности растений питательными веществами. Последнее условие выполняется на участках карьера с почвенным слоем с содержанием гумуса в диапазоне 2-5 %, нанесенным искусственно или под действием природных факторов. Кроме того, на плотности произрастания деревьев сказывается географическая ориентация нерабочих бортов.

Отдельно отметим установленную пестроту в тенденциях формирования локальных экосистем в отработанных карьерах, положительные результаты которого неизменно должны выступить ориентиром в создании горнодобывающими предприятиями архитектуры экологически благоприятных горнопромышленных ландшафтов в местах добычи рудного и нерудного сырья открытым способом на всей территории РФ со схожими почвенно-географическими и природно-климатическими характеристиками.

Итак, на основе системного анализа результатов полевых экспедиций и дистанционного горно-экологического мониторинга установлены закономерности формирования локальных экосистем на участках отработанных карьеров с приемлемыми показателями, которые положены в основу экологической оптимизации геометрической формы карьерной выработки. Установленные экологически оптимальные параметры карьеров должны приниматься во внимание при формировании технического задания на проектирование открытых горных работ на месторождениях общераспространенных полезных ископаемых.

Дальнейшее движение по существующей траектории в области разработки щебеночных карьеров по технологиям, созданным в 60-70-е гг. прошлого века, каждый раз будет способствовать формированию горнопромышленных ландшафтов с показателями, далекими от значений экологически оптимальных. Но такое положение должно измениться в лучшую сторону, если имеется понимание того, как географически правильно ориентировать нерабочие борта карьера, при которых будут обеспечиваться оптимальные экологические показатели техногенного рельефа. Предложенные инженерные технологические решения являются лучшими на сегодняшний день. Их использование позволит в кратчайшие сроки сформировать экологически оптимальные горнопромышленные ландшафты в отработанных карьерных выработках с учетом географической ориентации их нерабочих бортов.

Горнопромышленные ландшафты, близкие к природным, могут быть сформированы на месторождениях по добыче нерудного сырья на территории РФ в географическом секторе между 48^0 и 60^0 параллелями северного полушария с континентальным климатом, и во всем диапазоне почвенного разнообразия, соответствующего этому сектору. При этом в качестве главных условий для ускоренного формирования локальных экосистем в отработанных карьерах должны быть выполнены следующие технологические требования и регламенты:

1. Углы заоткоски уступов карьера при их постановке в конечное положение независимо от их высоты и количества должны находиться в диапазоне $18\text{-}22^0$.

2. Уступы при формировании нерабочего борта отработанного карьера разделяются межуступными площадками заранее известной ширины, суммарно обеспечивающих минимальные размеры дна карьера, с обратным $3\text{-}5^0$-ным уклоном в сторону нерабочего борта.

3. На все элементы нерабочего борта – откосы уступов, межуступные площадки, дно карьера наносят техногенную почвенную смесь, приготовленную из почвенных слоев и четвертичных отложений мощностью до 0,3 м.

4. Геометрическая форма карьера должна выбираться из учета максимальной площади бортов северной и западной экспозиций и минимальной площади южной и восточной экспозиций.

УДК 622.882:628.33

РЕМОНТ СФОРМИРОВАННЫХ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

д.т.н. Зеньков И.В.
Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука»,
Красноярский научный центр СО РАН,
г. Красноярск, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты определения затрат на ремонт рекультивированных породных отвалов угольных разрезов. Сделан вывод об экономической нецелесообразности переноса работ по ремонту породных отвалов на более поздние периоды с момента начала их разрушения.

Ключевые слова: угольные разрезы, породные отвалы, рекультивация земель, экономика рекультивации, ремонт отвалов

Структура породных отвалов угольных разрезов Канско-Ачинского бассейна представляет собой техногенную смесь из вскрышных пород (суглинки, супеси, глины, почвенные слои, углистые аргиллиты, песчаники и т.п.). Большой удельный вес четвертичных (мягких) отложений (75-85 %) в структуре пород отвала, таяние снежного покрова на поверхности отвала, летние затяжные ливневые дожди приводят к интенсивному разрушению целостности рельефа отвалов под влиянием водной эрозии. Очевидно, что экологическое равновесие природной среды, формирующееся на рекультивированных отвалах, нарушается. Практика показывает, что отсыпка вскрышных отвалов по ГОСТ и методикам 1970-80 гг. резко снижает экологическую эффективность материальных и финансовых затрат угольных разрезов – сокращается площадь рекультивированного отвала, сокращается площадь естественно природного ландшафта, на котором отсыпан отвал. Кроме того, к негативному экологическому воздействию на окружающую природную среду отнесен вынос углесодержащих пород из тела отвала, которые при контакте с атмосферным воздухом начинают возгораться – в результате в атмосферу попадают сернистый газ, бензапирен и т.п. Устраняют эти негативные экологические последствия путем производства работ по ремонту породных отвалов.

Ситуации с образованием оврагов на разновозрастных отвалах наблюдаются повсеместно на угольных разрезах Красноярского края. Также ясно то, что развитие оврагов на отвалах во времени является процессом безостановочным. В этой связи актуальной является проблема ремонта рекультивированных отвалов. Важными являются два аспекта этой проблемы: источник и объем финансирования работ по ремонту отвалов (бюджет района), поскольку отвалы приняты государственной комиссией и поставлены на кадастровый учет как земли государственного фонда, а с другой стороны, ремонт отвалов – это затраты на устранение возникающих экологических проблем как в коротком (5-7 лет), так и в длительном (15-25 лет) периодах, образовавшихся в результате производства работ по рекультивации нарушенных земель, спроектированных по государственным стандартам.

В том случае, когда отвалы приняты комиссией и с этого момента они начинают (продолжают) разрушаться, необходимо в бюджете муниципалитета предусматривать средства на устранение этих негативных экологических последствий. В этой ситуации к угольным разрезам претензий быть не должно, поскольку отвалы постановлены на земельный баланс. Другая ситуация просматривается в тех случаях, когда разрушение отвалов происходит до их постановки на баланс муниципалитета. Такое положение требует совсем иных подходов со стороны угольного разреза, поскольку предстоит прием рекультивированного отвала госкомиссией. Прогнозирование уровней объемов финансирования по ремонту отвалов должно основываться на положении о том, что «если отвалы не ре-

монтировать», то в геометрической прогрессии будет увеличиваться площадь части отвала, подвергающегося водной эрозии, что приводит к адекватному росту объема образующегося оврага, а последнее напрямую отразится на финансировании работ по ремонту отвалов. Кроме того, затраты будущих периодов будут с каждым годом увеличиваться под влиянием инфляции.

Оценка финансирования работ по ремонту отвала должна осуществляться в следующей логической последовательности. Предварительно рассчитывают объемы ремонтных работ: на местности определяют водосборный участок, с целью разработки мероприятий по ликвидации концентрации и рассредоточению значительных объемов воды в период интенсивного снеготаяния и ливневых дождей в теплое время года (рис. 1).

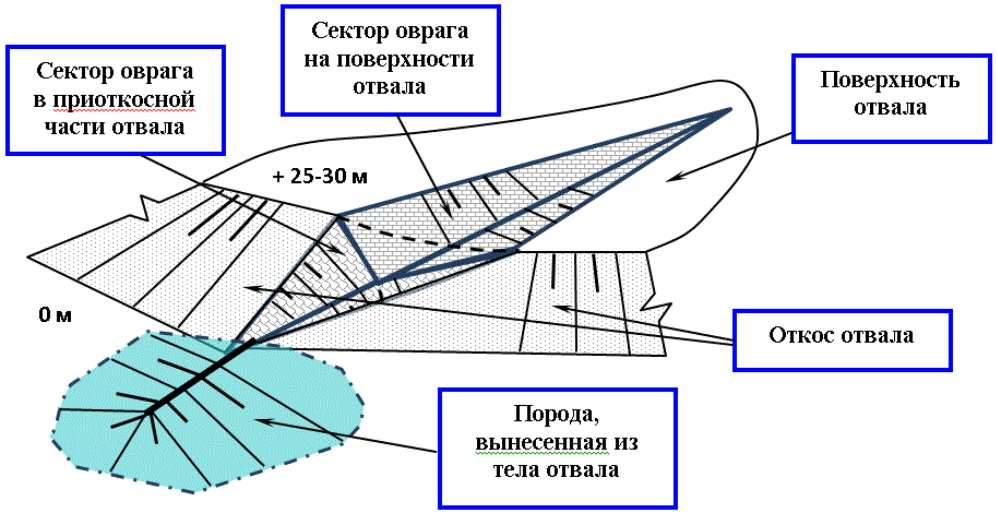


Рис. 1. Схема к расчету объемов работ по ремонту породного отвала

На втором этапе определяют объем образовавшихся оврагов – в приоткосной части отвала и на его поверхности, поскольку ремонт поверхностной части требует нанесения почвенного слоя и проведения работ по биологическому этапу рекультивации. Далее определяют источник формирования и объем почвенной смеси для рекультивации горизонтальной части ремонтируемого породного отвала.

На заключительном этапе определяют площадь природного ландшафта, на который выносятся вскрышные породы из тела размываемого отвала, а также объем почвенного слоя для рекультивации этого участка при необходимости и объем работ, предусмотренных биологическим этапом рекультивации.

Итоговые затраты на ремонт одного породного отвала складываются из следующих элементов: проектно-изыскательские работы, прохождение экспертизы проекта, экскавация и транспортировка вскрышных пород, вынесенных из тела отвала, для обратной засыпки в овраг на отвале, уплотнение отсыпанного грунта катками, снятие почвенного слоя и укладка его в бурт, экскавация и транспортировка почвенного слоя на горизонтальную площадку отвала, разравнивание бульдозером почвенного слоя, проведение работ, составляющих биологический этап рекультивации.

Прогнозная оценка финансирования работ по ремонту одного отвала при одном его размыве представлена на рис. 2. На графике нижняя кривая определяет изменение затрат на проектно-изыскательские работы и прохождение экологической экспертизы. Эти затраты в принципе увеличиваются во времени под влиянием инфляции, а также могут увеличиваться за счет количества участков отвалов, разрушаемых оврагами. Другая зависимость - изменение затрат на ремонт отвала, что отражает на графике верхняя кривая. Рост затрат во времени обусловлен увеличением геометрических размеров оврага в трехмерном пространстве в каждом из его измерений.

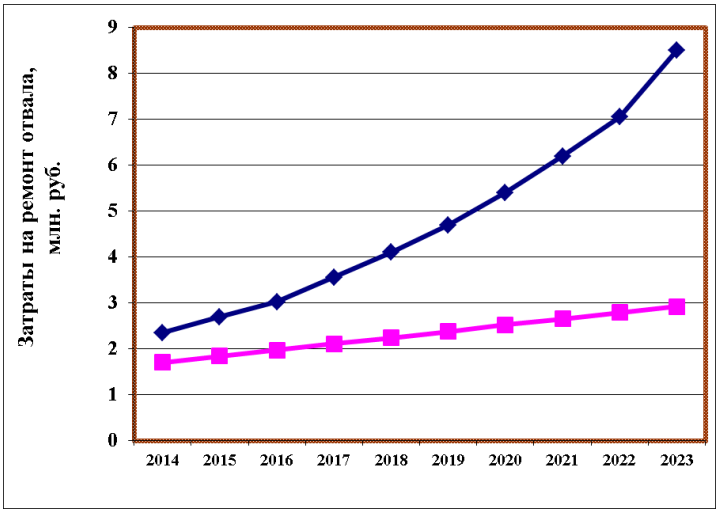


Рис. 2. Изменение затрат на ремонт отвала

В заключение отметим следующее – изменение затрат на ремонт отвалов характеризуется явно выраженным их ростом во времени, причем интенсивность роста усиливается с каждым годом. Также необходим анализ причин происходящего с целью определения источника финансирования работ по ремонту ранее рекультивированных отвалов вскрышных пород, сформированных в ходе добычи угля открытым способом.

УДК 534.1; 622

АНАЛИЗ ТЕРМОЗАЩИТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН В РАЙОНАХ С МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫМИ ПОРОДАМИ

[1]Павлова П.Л., [2]д.т.н. Зеньков И.В.
1 - Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия
2 - Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука»,
Красноярский научный центр СО РАН,
г. Красноярск, Россия

Аннотация. Мерзлые породы занимают более половины территории Российской Федерации, являющейся основной базой добычи углеводородов. Существующие технологии (термоизоляция, установка термостабилизаторов) не позволяют контролировать процесс протаивания и охлаждения мерзлых пород. Термоизоляция лишь оттягивает время протаивания мерзлой породы, а работа термостабилизаторов зависит от сезона, т.к. циркуляция хладагентов внутри трубы происходит только зимой. Поэтому весьма перспективным является разработка оборудования, предназначенного для контроля и регулирования в определенных пределах температуры мерзлой породы во время строительства и эксплуатации скважин вне зависимости от температурных и внешних условий.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, буровая скважина, термостабилизация приустьевой зоны, опытный образец, моделирование.

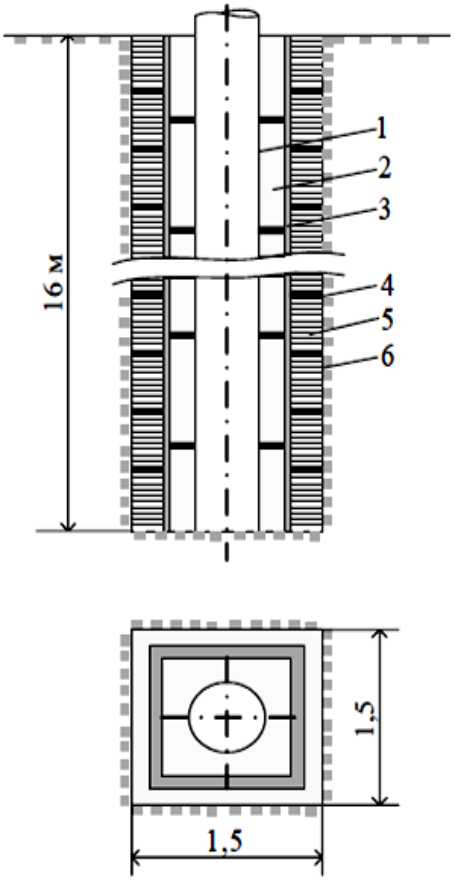
Строительство и эксплуатация скважин в районах с многолетнемерзлыми породами (ММП) усложняется из-за температурного воздействия на мерзлый грунт [1 - 3]. Скважина является источником теплоты, что приводит к протаиванию мерзлого грунта, а во время простаивания возникает обратный процесс – промерзание. В результате в прискважин-

ной зоне и в конструкции скважины возникает ряд комплексных проблем, а именно просадка, кавернообразвание, смятие колонн и т.д.

В зоне ММП расположены крупнейшие нефтегазоносные провинции: Западно-Сибирская и Восточно-Сибирская и некоторые шельфы арктических морей [4]. В ходе освоения месторождений Западной и Восточной Сибири, в основном, совершенствуют технологию строительства скважины для повышения ее надежности, направленную на разработку промывочных и тампонажных растворов [1]. Но как показывает практика, проблему протаивания мерзлых пород в прискважинной зоне технологические меры решают недостаточно эффективно.

В 30-50 гг. XX – столетия во время разбуривания приакрктической зоны Красноярского края А.В. Марамзиным была предложена конструкция шахтового направления, которое состояло из шахты прямоугольным сечением 2 х 2 м (или 1,5 х 1,5 м) и глубиной 10-16 м, сруба размером 1 х 1 м, слоя глины за деревянным срубом, металлической трубы, спущенной в центр деревянного сруба, и шлакобетона или цементного раствора, залитого в пространство между срубом и трубой (рис.1) [1]. Но конструкция шахтового направления не предотвращала протаивание мерзлых пород при строительстве и эксплуатации скважины, однако начало для создания конструкции термозащитных оборудований было положено.

Существующие конструкции термозащитного оборудования делят на механические и термические. Термические в свою очередь делятся на активные, которые используют энергию электричества, ветра, хладагента и пассивные – теплоизоляционные материалы.



1 – металлическая труба; 2 – прослойки цемента или шлакобетона; 3 – деревянный сруб; 4– бетон с прослойками бута или щебня; 5 – глина; 6 – мерзлые породы

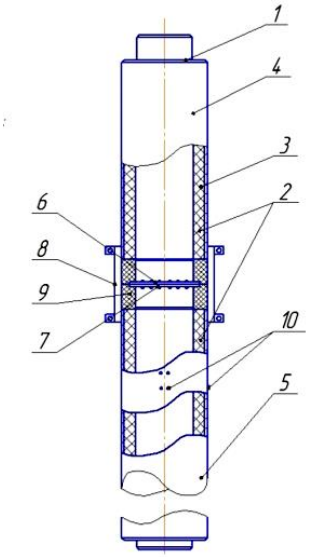
Рис. 1. Конструкции шахтовых направлений А.В. Марамзина

Для теплоизоляци скважин используют термоизолированное направление (термокейс). Конструкция разработана компанией ЗАО «Сибпромкомплект» и запатентована (RU № 74415, рис. 2) [5]. Колонна изготавливается из стальных труб диаметром 530 и 820 мм

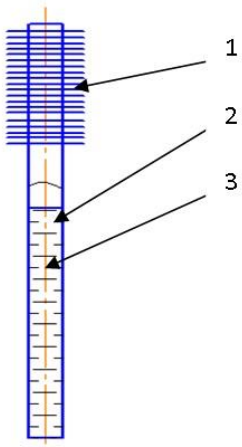
по технологии «труба в трубе» с заливкой межтрубного пространства теплоизолирующим материалом – пенополиуретаном. Конструкция имеет длину 24 м и состоит из двух секций – верхней и нижней, соединяемых при помощи фланцев или сварным швом.

Основным преимуществом использования термоизолированного направления является уменьшение расстояния между устьями скважин в 2 раза по сравнению с неизолирующими направлениями. Но применение термокейсов лишь растягивает процесс протаивания мерзлых грунтов.

На практике распространены различные конструкции парожидкосных термостабилизаторов [6]. Термостабилизатор представляют собой герметичный корпус диаметром 60-30 мм, длиной от 4 до 20 м с зонами испарения и конденсации жидкого теплоносителя. В качестве хладагента или теплоносителя обычно используют аммиак, фреон-22, хладон. Следует отметить, что эффективность работы данных термостабилизаторов зависит от перепадов температуры в течение года. Циркуляция хладагента внутри трубы происходит только зимой.



1 – наружная труба; 2- внутренняя труба; 3,9 – термоизолирующий материал;
4- верхняя часть направления; 5 – нижняя часть направления;
6,7 – фланцевое соединение; 8 – обечайка; 10 - крепежи
Рис. 2. Конструкция термоизолированного направления



1 – конденсатор; 2 – хладаноситель; 3 – герметичная трубка
Рис. 3. Конструкции парожидкосного термостабилизатора

Для увеличения эффективности работы термостабилизаторов компанией АОЗТ «Интер Хит Пайп» разработан термостабилизатор круглогодичного действия ТТМ-1 (рис.

4) [7], конденсаторная (надземная) часть которого снабжена блоком термомодулей – полупроводниковых устройств, реализующих эффект Пельтье за счет подводимого извне постоянного электрического тока 3А низкого напряжения 12 В. Блок термомодулей может быть съемным. При снятом или отключенном блоке ТТМ-1 работает как обычный парожидкосный термостабилизатор, а может и оставаться на зиму для дополнительного охлаждения во время оттепелей.

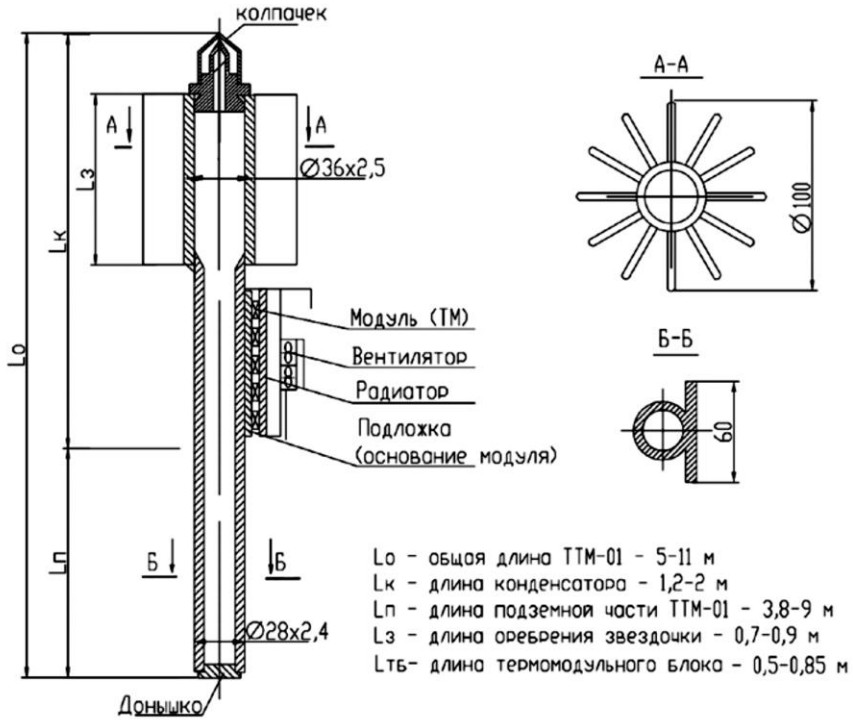


Рисунок 4 – Термостабилизаторы типа ТТМ-1 круглогодичного действия

Таким образом, наметились три основных направления строительства и эксплуатации нефтяных и газовых скважин в районах с многолетнемерзлыми породами:

- оборудование для искусственного промораживания приустьевых зон (парожидкосные термостабилизаторы);
- оборудование для предотвращения протаивания мерзлых пород с использованием теплоизоляционных материалов (термокейс);
- совмещенный способ.

Список литературы

1. Быков И.Ю. Термозащита конструкций скважин в мерзлых породах: учеб. пособие / И.Ю. Быков, Т.В. Бобылёва. Ухта: УГТУ, 2007. - 131 с.

2. Грязнов Г.С. Конструкции газовых скважин в районах многолетнемерзлых пород. М.: Недра, 1978. - 136 с.

3. Медведский Р.И. Строительство и эксплуатация скважин на нефть и газ в вечномерзлых породах. М.: Недра, 1987. - 230 с.

4. Каламкаров Л.В. Нефтегазоносные провинции и области России и сопредельных стран. М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. - 560 с.

5. ЗАО «Сибпромкомплект» URL: http://www.zaospk.ru (дата обращения: 20.10.2014).

6. ООО НПО «Фундаментстройаркос» URL: http://www.npo-fsa.ru/o-kompanii-0 (дата обращения: 20.10.14).

7. АОЗТ «Интер Хит Пайп» URL: http://iheatpipe.ru/production.html (дата обращения: 20.10.14).

УДК 622.831

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОЙ ШИРИНЫ ЛЕНТОЧНЫХ ЦЕЛИКОВ ПРИ ПОЛОГОМ ЗАЛЕГАНИИ ПЛАСТОВ

[1]д.т.н. Ермакова И.А., [2]Пириева Н.Н.
1 - Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия
2 - ОАО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий, Россия

Аннотация. Предложен аналитический метод расчета распределения горного давления на ленточные целики. Получена зависимость минимальной устойчивой ширины целика от глубины разработки, мощности пласта и прочности угля при сжатии.

Ключевые слова: ленточный целик, минимальная ширина, аналитическая оценка, угольный пласт, глубина разработки, угол давления.

Расчет минимальной устойчивой ширины ленточных целиков является одной из основных задач геомеханики при подземной разработке полезных ископаемых. Решению этой задачи посвящены многие работы, достаточно полный обзор которых приведен в работе [1].

Результаты этих работ основаны на приближенных решениях упругих и упруго-пластичеких задач взаимодействия вмещающих пород с целиками. В данной работе развивается аналитический подход, использованный в [2, 3] для описания распределения опорного давления на угольный пласт.

Для расчета распределения горного давления на целик установливается суммарная нагрузка S, передаваемая на целик со стороны пород кровли. Для решения этой задачи рассмотрено распределение горного давления на почву пласта в выработанном пространстве лавы длиной $2L$ (рис.1).

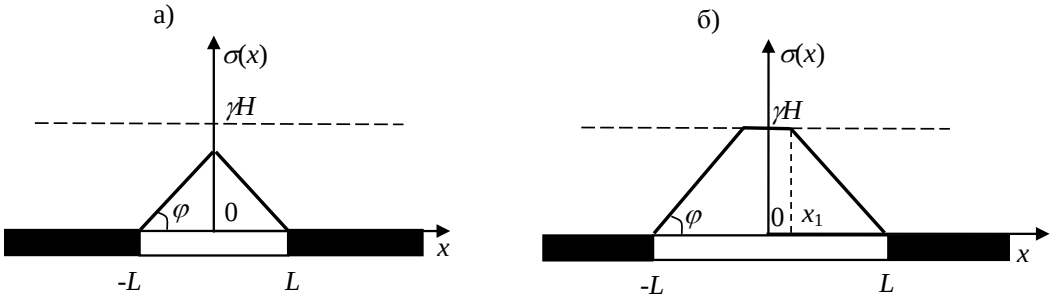


Рис.1. Распределение горного давления на почву пласта в выработанном пространстве: а) – при неполной подработке; б) – при полной подработке

Согласно [4], с учетом угла давления φ при полной или неполной подработке поверхности на глубине разработки H, получены следующие расчетные формулы, определяющие $\sigma(x)$ давление пород кровли на почву выработанного пространства:

$$\sigma(x) = \gamma \cdot L \cdot (1 - \frac{x}{L}) \cdot tg\varphi \qquad (1)$$

при неполной подработке поверхности (рис.1а) и

$$\sigma(x) = \begin{cases} \gamma H, & x \le |x_1|; \\ \gamma L(1 - \frac{x}{L}) \cdot tg\varphi, & |x_1| \le x \le L \end{cases} \qquad (2)$$

при полной подработке (рис.1б).

Здесь x – расстояние от середины выработанного пространства; $2x_1$ – длина участка почвы выработанного пространства, на которой полностью восстановлено давление γH.

Условие полной подработки имеет вид

$$L \cdot tg\varphi \geq H .$$

Для условий разработки пологих пластов Ленинского и Беловского районов Кузбасса, согласно [4], угол давления $\varphi=56^0$. Для выработанного участва длиной 300 м полная подработка поверхности происходит, начиная с глубины 225 м.

Тогда, нагрузка, снимаемая с почвы лавы и перераспределенная на половину целика, вычисляется суммированием дополнительного до γH давления как

$$S_1 = \int_0^L (\gamma H - \sigma(x))dx . \quad (3)$$

При неполной подработке эта нагрузка определится как

$$S_1 = \gamma HL - \frac{3}{2}\gamma L^2 . \quad (4)$$

При полной подработке это выражение будет иметь следующий вид

$$S_1 = \frac{1}{2}\gamma H^2 ctg\varphi. \quad (5)$$

Рассматривается ленточный целик шириной $2 \cdot l$, расположенный между двумя очистными выработанными пространствами. В сечении вкрест простирания пласта целик находится в состоянии плоской деформации (рис.2).

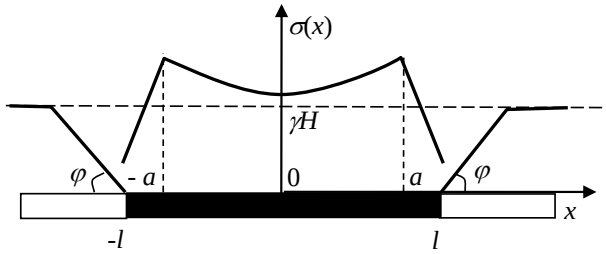


Рис.2. Распределение горного давления на ленточный целик

Распределение горного давления на целик в запредельной зоне имеет линейный вид, как предложено в [5]. Там же показано, что распределение опорного давления в допредельной зоне пласта убывает до γH обратно пропорционально квадрату расстояния от забоя. Поэтому принимаются следующие зависимости распределения горного давления $P(x)$ на половину целика:

$$P(x) = \begin{cases} kx + b, & 0 \leq x \leq a; \\ \dfrac{c}{x^2} + \gamma H, & l \geq x \geq a. \end{cases} \quad (6)$$

Суммарная пригрузка пород кровли на половину целика составит

$$S_2 = \int_0^l (P(x) - \gamma H))dx = k\frac{a^2}{2} + (b - \gamma H) \cdot a + c(\frac{1}{a} - \frac{1}{l}). \quad (7)$$

Из условия $S_1 = S_2$ и с учетом непрерывности распределения горного давления $P(x)$ в точке перехода от допредельного состояния угля в запредельное, то есть при $x = a$, получена система уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{ka^2}{2} + (b - \gamma H) \cdot a + c \cdot \left(\dfrac{1}{a} - \dfrac{1}{l}\right) = S_1, \\ ka + b - \gamma H = \dfrac{c}{a}. \end{cases} \quad (8)$$

Учитывая, что ширина целика намного больше ширины зоны запредельного деформирования угля, получено следующее уравнение для определения ширины зоны запредельного деформирования угля

$$3ka^2 - 4(\gamma H - b)a - S_1 = 0, \quad (9)$$

решение которого имеет вид

$$a = \frac{2(\gamma H - b) + \sqrt{4(\gamma H - b)^2 + 3S_1}}{3k}.$$

Минимальная ширина целика соответствует переходу целика полностью в запредельное состояние. В этом случае $l = a$ и уравнение (9) принимает вид

$$ka^2 - 2(\gamma H - b)a - S_1 = 0, \quad (10)$$

из которого следует выражение для определения половины минимальной ширины ленточных целиков

$$a = \frac{(\gamma H - b) + \sqrt{(\gamma H - b)^2 + kS_1}}{2k}. \quad (11)$$

При незначительной остаточной прочности угля в краевой части целика, то есть при $b \approx 0$

$$a = \frac{\gamma H + \gamma H\sqrt{1 + \frac{kS_1}{\gamma^2 H^2}}}{2k}. \quad (12)$$

После подстановки выражения S_1 из (5) получена зависимость

$$a = \frac{\gamma H + \gamma H\sqrt{1 + \frac{kctg\varphi}{2\gamma}}}{2k}. \quad (13)$$

Так как k имеет порядок 10^7, а γ имеет порядок 10^4, то значение выражения $\frac{kctg\varphi}{\gamma}$ будет иметь порядок 10^3, что намного больше 1. С учетом этого из формулы (13) получается следующее выражение

$$a = \frac{\gamma H}{2k} + \frac{\gamma H\sqrt{ctg\varphi}}{2\sqrt{k\gamma}}. \quad (14)$$

Угловой коэффициент k выражается через интенсивность касательных напряжений τ как: $k = 2\tau / m$, где m – мощность пласта, $\tau = \sigma_{сж} / \sqrt{3}$, $\sigma_{сж}$ – прочность угля при сжатии (МПа) [6].

Принимая во внимание, что удельный вес пород кровли составляет 25000 Н/м^3 и для условий разработки пологих пластов Кузбасса [4] $\varphi = 56^0$, окончательное выражение для минимальной ширины целика $D = 2a$ имеет вид

$$D = \gamma H\frac{0{,}87m + 3{,}41\sqrt{m\sigma_{сж}}}{\sigma_{сж}}. \quad (15)$$

На рис.3 показана полученная из формулы (15) графическая зависимость минимальной ширины D ленточных целиков от прочности угля при сжатии $\sigma_{сж}$ и мощности пласта m при глубине разработки H=300 м.

Таким образом, в работе представлена новая аналитическая зависимость минимальной ширины ленточных целиков от глубины разработки, мощности пласта и прочности угля при одноосном сжатии. Установлено, что ширина целиков прямо пропорциональна глубине разработки, мощности пласта и обратно пропорциональна прочности угля при сжатии.

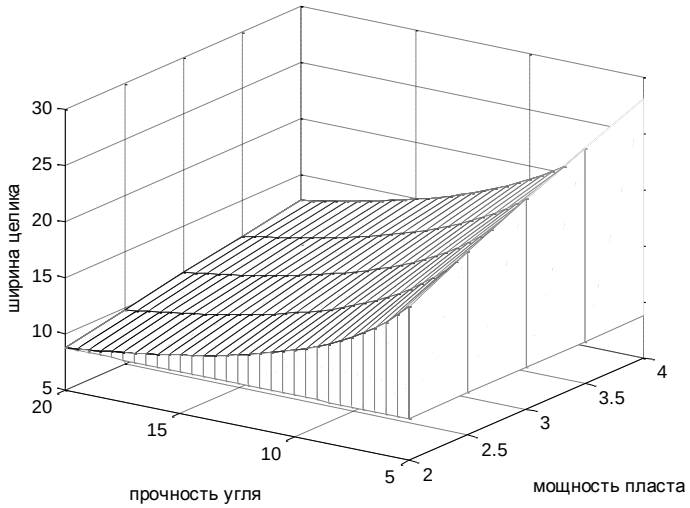


Рис. 3. Зависимость минимальной ширины целика от прочности угля при сжатии и мощности пласта

Проведенные аналитические расчеты минимальной ширины ленточных целиков показали качественное и количественное соответствие с результатами аналогичных расчетов, выполненных графо-аналитическим методом [7].

Список литературы

1. Линьков А.М. О теории расчета целиков.//ФТПРПИ, 2001, №1. – С.12–30.

2. Гоголин В.А. Аналитическая оценка распределения опорного давления при полной подработке поверхности./ В.А. Гоголин, Т.И Кургузкина.// Вестник КузГТУ, 2004, №2. – С.8 – 13.

3. Дягилева А.В. К оценке влияния очистных работ на протяженность зоны опорного давления./А.В. Дягилева, В.А. Гоголин, И.С. Елкин, Е.А. Плотников // Вестник КузГТУ, 2005, №4.1. – С.29–35.

4. Петухов И.М. Теория защитных пластов. / И.М. Петухов, А.М. Линьков, В.С. Сидоров, И.А. Фельдман. – М.: Недра, 1976.– 223 с.

5. Баренблатт Г.И. Об обрушении кровли при горных выработках./ Г.И. Баренблатт, С.А. Христианович // Известия АН СССР, ОТН, 1955, № 11. – С.73 – 85.

6. Качанов М.Л. Основы теории пластичности. М.: Наука, 1969.– 420 с.

7. Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов: Справочное пособие/ И.М. Петухов, А.М. Линьков, В.С. Сидоров и др. – М.: Недра, 1992.– 256 с.

УДК 622.271

КРИТЕРИИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СРАВНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВНУТРЕННЕГО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА РАЗРЕЗАХ К ЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

к.т.н. Селюков А.В.
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия

Аннотация. Преимущественным способом разработки наклонных и крутопадающих залежей в Кемеровской области остаются системы разработки с внешними отвалами. Предложены поисковые решения для устранения недостатков этих систем разработки и выбор критерия оценки альтернативных вариантов развития работ.

Ключевые слова: порядок разработки, внутреннее отвалобразование, критерии эффективности, карьер, вскрышные работы.

С позиции рыночной экономики и повышенных требований к экологии, несмотря на отдельные преимущества, продольные разработки имеют ряд серьезных недостатков:

1. График режима горных работ имеет пикообразный вид с возрастанием вскрышных объемов на протяжении всего основного периода отработки месторождения и последующим резким его падением при погашении работ. Такой режим горных работ эффективен только на начальной стадии эксплуатации месторождения. В последующем целесообразна стабилизация вскрыши и добычных работ.

2. Продольный порядок отработки предполагает развитие горных работ в глубину на всех этапах эксплуатации.

Отсюда:

а) с углублением горных работ и развитием внешних отвалов постоянно увеличивается расстояние транспортирования вскрышных пород и, следовательно, возрастают затраты на производство вскрыши, повышается загазованность рабочей зоны разреза выхлопными газами от автомобилей;

б) с глубиной увеличивается общая длина фронта работ и протяженность транспортных коммуникаций, что требует больших затрат на их поддержание;

в) весь объем вскрышных пород вывозится на внешние отвалы, для их размещения необходимы большие земельные отводы;

г) велики площади нарушения поверхности, которые являются источниками пылеобразования в районе ведения открытых горных работ. д) отсутствует возможность восстановления поверхности в процессе эксплуатации месторождения, из-за чего создается большой разрыв во времени между нарушением земель и рекультивацией горных выработок.

В поисках новых решений, направленных на частичную или полную ликвидацию указанных выше недостатков продольного направления развития горных работ на разрезах, работниками научно-исследовательских и проектных институтов, вузов совместно с производственниками были предложены различные варианты порядка отработки сложноструктурных месторождений Кузбасса [1, 4, 5].

Суть предложений сводится к созданию на начальном периоде эксплуатации емкости, где в последующем размещаются вскрышные породы, т.е. внутренние отвалы. При этом все варианты можно объединить в две группы.

К первой группе относятся варианты порядка отработки, которые предусматривают интенсивное ведение горных работ на обособленной части поля разреза - карьера первой очереди, до конечных контуров с вывозкой вскрышных пород на внешние отвалы. Дальнейшая отработка месторождения ведется с расположением внутренних отвалов в подготовленном выработанном пространстве карьера первой очереди. Это, так называемые, поперечная и блочно-слоевая разработка, блоковый способ - для наклонных и крутых (20-90^0) месторождений и продольно-поперечная отработка этапами - для наклонных (20-45^0) месторождений (рис. 1).

При поперечном порядке отработки [1,5] протяженных месторождений фронт горных работ подвигается по простиранию залежи. По мере формирования внутренних отвалов и подвигания вскрышного фронта вслед за ним подвигается фронт отвальных работ. Уступы отрабатываются одновременно на всех горизонтах. Вскрышные породы перевозятся на погоризонтные отвалы по транспортным бермам. Полезное ископаемое транспортируется на поверхность по внутренним полустационарным съездам, расположенным на рабочем борту карьера.

Сущность блокового способа отработки месторождений с большим простиранием [2] заключается в предварительном разделении поля на отдельные части - блоки, разрабатываемые последовательно.

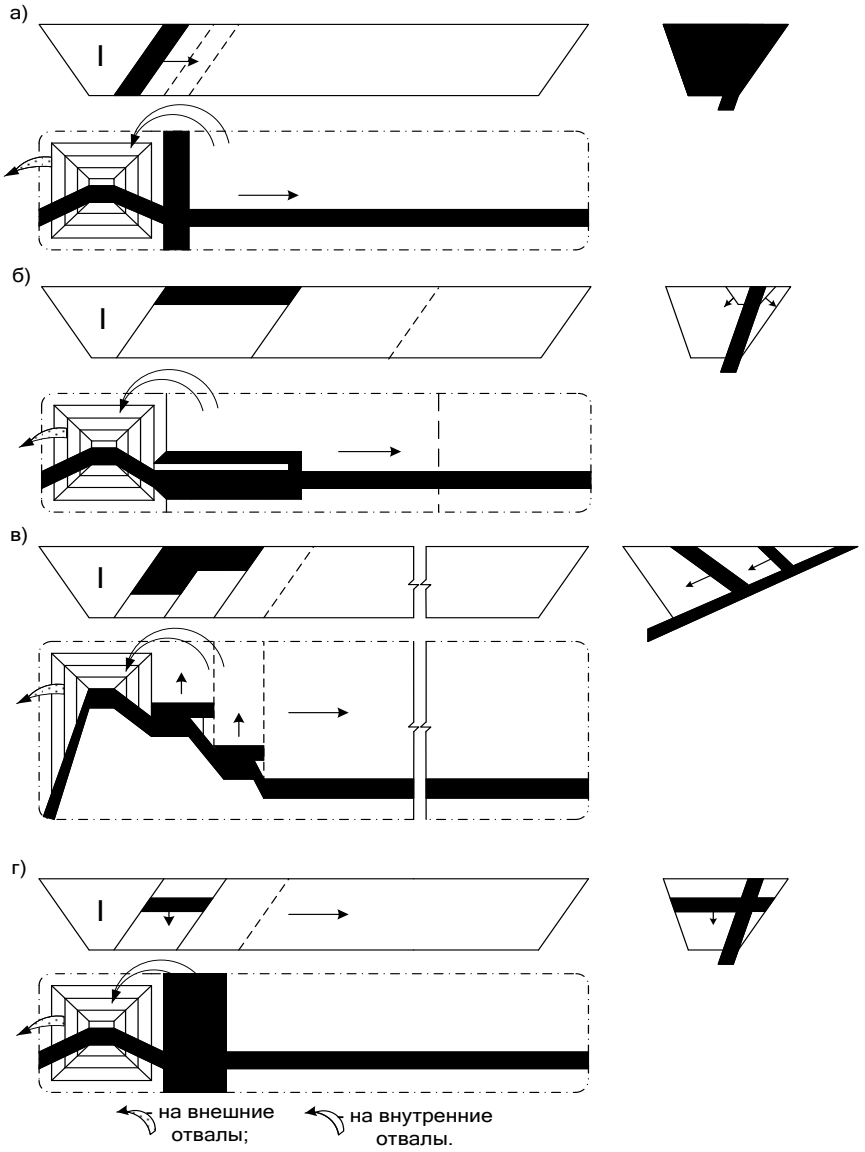


Рис. 1. Варианты порядка отработки с внутренними отвалами: а, б, в, г - порядок отработки соответственно поперечный, блоковый, продольно-поперечными этапами, блочно слоевой; I- карьер первой очереди

Отработка первоочередного блока осуществляется по транспортной технологии с вывозкой всего объема вскрыши на внешние отвалы. После полной отработки этого блока в работу включается соседний блок, вскрышные породы из которого транспортируются уже не на внешние отвалы, а в выработанное пространство от предыдущего блока. При отработке блоков горные работы развиваются в глубину в нисходящем порядке при сохранении текущего коэффициента вскрыши, соответствующего отработке уступов в блоке продольными заходками. Фронт горных работ при этом подвигается вкрест простирания залежи. Завалка выработанного пространства ведется снизу вверх, отсюда и развитие породных отвалов осуществляется в восходящем порядке.

Порядок отработки с продольно-поперечным направлением развития горных работ [3] заключается в следующем. Первоначально горные работы концентрируются на участке с небольшой протяженностью (600-700 м), который разрабатывается на полную глубину. Одновременно с интенсивным развитием работ в карьере первой очереди или в период перехода ко второй очереди отработки (в зависимости от горно-геологических условий месторождений) разрабатываются участки по всему полю вдоль выходов пластов под

наносы. Вскрышные породы при эксплуатации первой очереди карьера транспортируются на внешние отвалы, а фронт работ подвигается вкрест простирания месторождения. После подготовки необходимой емкости для расположения внутренних отвалов наступает период следующей очереди эксплуатации. Вторая очередь карьера предполагает отработку месторождения циклично широкими (300-400 м) полосами по падению при перемещении фронта горных работ по простиранию. Вскрыша и добыча ведутся одновременно на многих горизонтах, а так же в двух смежных полосах, что позволяет выравнивать текущий коэффициент вскрыши. В выработанном пространстве карьера первой очереди, начиная с нижнего яруса, сооружаются и развиваются внутренние отвалы. Полный переход на внутреннее отвалообразование завершается в момент, когда будут сформированы все отвальные ярусы. Для отвального фронта характерно то, что он располагается перпендикулярно линии простирания месторождения и подвигается в процессе разработки вслед за вскрышными работами. Отсыпка породы производится одновременно на всех ярусах.

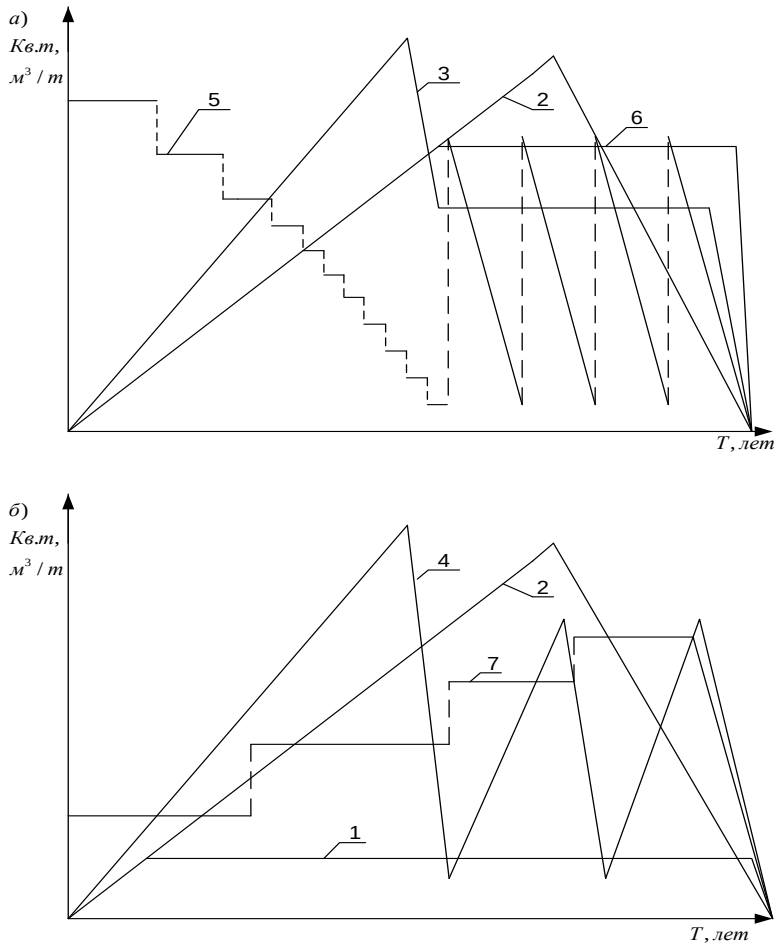
Блочно-слоевой порядок отработки [4] предусматривает выделение в торце карьерного поля блока (карьера первой очереди), который разрабатывается горизонтальными слоями до конечной глубины с вывозкой вскрыши на внешние отвалы. Отработка оставшейся части месторождения производится так же горизонтальными слоями в блоках с укладкой вскрышных пород в создаваемом выработанном пространстве. Кроме рассмотренных выше вариантов для разработки месторождений с неравномерной в плане и по глубине угленасыщенностью и разным качеством угля в границах поля разреза применяется способ отработки локальными участками - этапами [1,5] с самостоятельным развитием горных работ на них. Рабочее пространство при этом представляет собой совокупность, как бы "элементарных" месторождений (участков) с достаточно однородными в пределах этих участков горно-геологическими условиями. Локальные участки (локальные структуры) могут включать: мощный одиночный пласт, группу сближенных маломощных пластов, группу пластов, собранных в синклинальные или антиклинальные складки или срезанных по глубине тектоническими нарушениями, а также части крыльев складки. Под однородными горно-геологическими условиями понимаются такие условия, в которых может быть создан единый фронт горных работ, а отработка угля и вскрышных пород производится без изменения вида технологии.

В данном варианте порядка отработки не предполагается проведение карьера первой очереди, поэтому при достижении на отдельных участках граничных контуров появляется выработанное пространство, которое используется в последующем для внутренних отвалов. Для ускорения перехода к внутреннему отвалообразованию отдельные участки, наиболее благоприятные с точки зрения размещения породы в выработанном пространстве, могут быть отработаны с повышенной интенсивностью. Варианты порядка отработки этой группы имеют близкие значения по коэффициенту извлечения запасов и удельными затратами на вскрышные работы, близкие между собой показатели, характеризующие нарушение и восстановление земель. Основные различия по вариантам наблюдаются в подготовленных к выемке запасах, и особенно в режиме горных работ.

В теории открытых разработок наиболее благоприятным режимом горных работ считается такой режим, который не допускает в отдельные периоды отработки увеличения или снижения объемов вскрыши и добычи. Такой режим предполагает меньшие значения текущего коэффициента вскрыши на начальной стадии разработки месторождения и стабилизацию его в основной период эксплуатации.

Классический, т.е. наиболее благоприятный режим горных работ, может быть получен при отработке месторождений простого строения и залегания. Например, отработка ведется горизонтального пласта мощностью 20 м при мощности вскрышных пород, равной 40 м. График 1 такого режима горных работ представлен на рис. 2б. Однако длительный период со стабильным текущим коэффициентом вскрыши характерен для месторождений, на которых ведется площадное развитие горных работ.

При развитии работ в глубину и применении так называемых углубочных продольных систем разработки (по классификации академика В.В. Ржевского) продолжительность периода со стабильным коэффициентом вскрыши сокращается. На рис. 2 для сопоставления между собой с классическим графиком представлены графики горных работ по всем вышерассмотренным вариантам порядка отработки.



1 - продольная отработка горизонтальной залежи; 2, 3, 4, 5, 6, 7 - варианты порядка отработки сложнозалегающих месторождений соответственно продольная, поперечная, блоками, блочно-слоевая, продольно-поперечная этапами, локальными участками

Рис.2. Графики режима горных работ при различных вариантах порядка отработки месторождений

Из рис. 2 видно, что график 3 режима горных работ при варианте с поперечной отработкой месторождения хотя и характеризуется стабильностью в основной период эксплуатации, однако при создании карьера первой очереди имеет большие значения коэффициента вскрыши ($К_в$), что отрицательно сказывается на экономике открытой угледобычи. Количество пик и впадин на графике равно числу блоков. Поскольку каждый блок представляет собой самостоятельный карьер малых размеров, то и график режима горных работ в этом блоке повторяет по форме график продольного порядка отработки. Резкие колебания в значениях $К_в$ на протяжении всего периода эксплуатации месторождения вносят определенный диссонанс в организацию работы оборудования, ухудшают технико-экономические показатели.

График 5 режима на рис. 2а при блочно-слоевой отработке месторождения включает в себя элементы двух вышеописанных графиков. Самые большие значения коэффициента вскрыши приходятся на начало создания карьера первой очереди. В основной период эксплуатации график режима горных работ имеет пикообразный характер, хотя и с меньшими перепадами значения $К_в$ чем при отработке блоками.

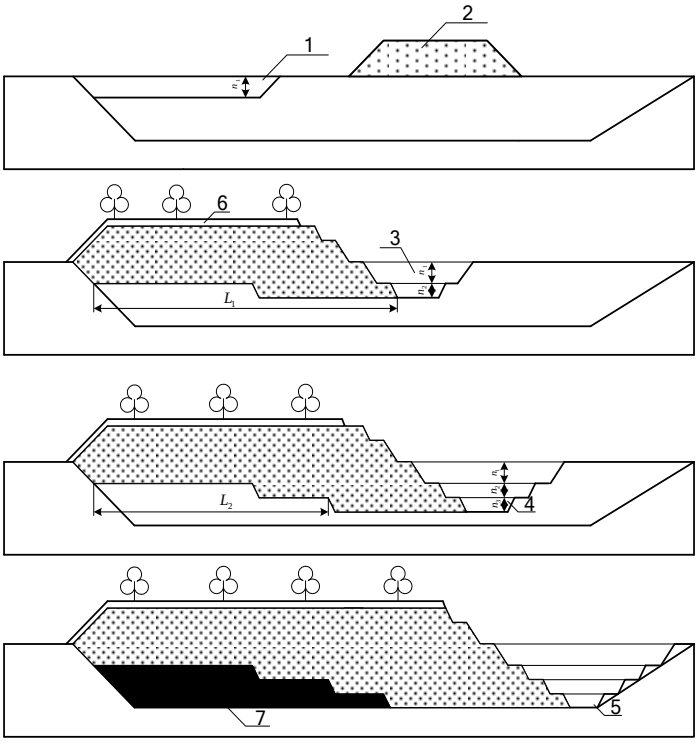
При отработке месторождения блоками график 4 режима горных работ представлен на рис. 2б. Наиболее благоприятный режим горных работ из рассмотренных вариантов порядка отработки получается при продольно-поперечной разработке сложнозалегающих месторождений этапами. Соответствие конфигурации графика режима горных работ классическому достигается за счет отработки месторождения сначала у выходов пластов под наносы по всему полю, а в последствии, в результате совмещения работ по погашению борта на дорабатываемых участках с интенсивным наращиванием вскрыши на вновь вводимых в разработку полосах.

График 7 режима горных работ на рис. 2а при разработке месторождения с неравномерной угленасыщенностью локальными участками имеет ступенчатый вид с возрастанием от этапа к этапу или от периода к периду. Несмотря на то, что внутри каждого периода разработки значение $К_в$ стабильные, в целом график имеет тенденцию к возрастанию.

Таким образом, область применения вариантов порядка отработки первой группы являются месторождения, на которых не только верхние, но и глубинные горизонты предназначены для открытой разработки, т.е. месторождения, на которых по перспективной планировке угольных полей экономически обосновано строительство и функционирование с длительным сроком эксплуатации предприятий открытой угледобычи - разрезов.

Выбору этих вариантов порядка отработки и их эколого-экономическому сравнению между собой должно предшествовать достаточно точное определение глубины открытых работ и обоснование целесообразности оставления породы в выработанном пространстве, поскольку угольные пласты большинства наклонных и крутопадающих месторождений распространяются в глубину значительно ниже границ разработки.

К характерной особенности вариантов порядка отработки второй группы относятся постепенное углубление горных работ в направлении простирания залежи с одновременной завалкой выработанного пространства [3,4]. Такая отработка позволяет резко сократить объемы внешних отвалов и приблизить сроки восстановления нарушенных земель (рис.3).



1 - начальная углубочная выработка; 2 - временный отвал; 3, 4, 5 - остаточная выработка; 6 - плодородный слой на овале; 7 - оставленные запасы угля в недрах; L_1, L_2 - длина этапа углубки; n_1, n_2, n_3 - мощность разрабатываемого слоя

Рис.3. Вариант поэтапно-улубочного порядка отработки месторождения с поточной рекультивацией

Однако при рассматриваемом порядке отработки уменьшается полнота извлечения запасов, пригодных для открытого способа добычи, так как часть их остается в недрах под внутренними отвалами.

В отдельных районах Кемеровского угольного бассейна, где в равной мере сосуществуют и развиваются открытые и подземные работы, наиболее реальным представляется отработка оставшихся запасов подземным способом.

Поэтому область применения вариантов порядка отработки второй группы следует считать верхние горизонты шахтовых полей. В этом случае нет необходимости в точном определении границ открытых работ и засыпка выработанного пространства породой вскрыши не вызывает сомнения.

Учитывая то, что технология с внутренним отвалообразованием на наклонных и крутопадающих месторождениях осуществима только при разработке их частями до конечной глубины, а также неравномерную угленасыщенность полей и разное качество угля как по площади, так и в глубину, важной задачей при изыскании порядка отработки является выбор критерия оценки альтернативных вариантов развития работ.

Идея, заложенная в критерий эффективности, заключается в установлении отношения между затратами на добычу угля с учетом природоохранных мероприятий и его ценой [1]. Если выразить затратную часть (*З*, руб. т) через себестоимость добычи угля (без учета затрат горного предприятия на охрану природы) через $С_{гт}$, а удельные затраты на природоохранные мероприятия и ущерб, наносимый окружающей среде и народному хозяйству через $С_{оп}$, то получим

$$З = C_{гт} + C_{оп}, руб/т, \quad (1)$$

где $С_{гт}$ - себестоимость добычи угля (без учета затрат на природоохранные мероприятия), руб/т;$С_{оп}$ - удельные эксплуатационные затраты на природоохранные мероприятия и погашение ущерба, наносимого окружающей среде, руб/т.

Себестоимость добычи определяется по известной формуле

$$C_{гт} = C_Д + K_В * C_В, руб/т, \quad (2)$$

где $C_Д$ - себестоимость добычи 1 т полезного ископаемого (без учета затрат на вскрышные работы), руб.; $C_В$ - затраты на 1 м^3 вскрыши, руб. ; $K_В$ - коэффициент вскрыши, м^3/т.

После выделения в себестоимости ($C_Д$, $C_В$) относительно постоянных затрат - $З^Д_П$; $З^В_П$ (удельных затрат на буровзрывные работы, выемочно погрузочные, отвалообразование и складирование) и переменных $З^Д_{тр}$; $З^В_{тр}$ (затраты на транспортные работы), получено

$$C_{гт} = (З^Д_П + З^Д_{тр}) + K_В(З^В_П + З^В_{тр}), руб/т, \quad (3)$$

Учитывая. что затраты на транспортные работы определяются как произведение стоимости 1 ткм ($C_{ТКМ}$) на расстояние транспортирования ($L_{ТР}$), получена формула для определения критерия эффективности

$$K_э = \frac{C_{ТКМ}(L^Д_{ТР} + K_В * \gamma_В * L^В_{ТР}) + З_П(1 + K_В * \gamma_В) + C_{ОП}}{Ц_Р}, \quad (4)$$

где $L^Д_{ТР}$ - расстояние транспортирования угля, км; $L^В_{ТР}$ - расстояние транспортирования вскрыши, км; $Ц_Р$ - оптовая цена угля, приведенная к фактической зольности, руб/т; $\gamma_В$ - плотность вскрышных пород, т/м^3.

Ущерб окружающей среде наносимый горным предприятием, а так же затраты на природоохранные мероприятия ($C_{ОП}$, руб. т) могут устанавливаться по существующим методикам с учетом характера влияния открытой разработки на окружающую среду.

Например, если анализируемые технологии разработки оказывают примерно одинаковое воздействие на воздушный бассейн и водные ресурсы, существует лишь отличие

в землеемкости добычи и объема рекультивации нарушенных земель при сохранении структуры и качества восстанавливаемых угодий, то затраты на природоохранные мероприятия могут быть определены по формуле

$$C_{ОП} = 10^{-6}[P(1-K_P)*C_{ГА} + P*K_P*C_P], руб/т, \quad (5)$$

где P - средняя землеемкость угледобычи, га/млн.т; K_P - коэффициент рекультивации; $C_{ГА}$ - норматив стоимости освоения новых земель взамен изымаемых для несельскохозяйственных нужд, руб/га; C_P - затраты на рекультивацию 1 га нарушенных земель, руб.

В случае, когда рекультивационные работы на карьере не производятся, затраты $C_{ОП}$ определяются по формуле

$$C_{ОП} = 10^{-6} P*C_{ГА}, руб/т, \quad (6)$$

Предлагаемый критерий эффективности рекомендуется не только для обоснования порядка отработки, но и для сравнения технологий ведения горных работ в условиях разрезов Кузбасса, оказывающих различное влияние на природную среду.

Список литературы

1. Кузнецов В.И. Новые решения в технологии ведения горных работ на разрезах Кузбасса / В.И. Кузнецов, В.А. Ермолаев, А.С. Ташкинов, А.С. Ненашев / - Кемерово: Кемеровское книжное издательство, 1994.- 150с.

2. Рутковский Б.Т. Блоковый способ отработки карьерных полей с большим простиранием // Разработка угольных месторождений открытым способом: Межвуз. сб. научн. тр. / Кузбас. политехн. ин-т. Кемерово, 1972. С. 81-87.

3. Михальченко,В.В. Землесберегающая технология отработки мощных наклонных и крутых залежей / В.В. Михальченко, С.А. Прокопенко, В.Г. Орлов и др. // Уголь. 1991. № 5. С. 44-46.

4. Корякин А.И. Технология открытой разработки угольных залежей крутого падения с оставлением пород вскрыши в выработанном пространстве / А.И. Корякин, С.М. Федотенко, А.Р. Жиронкин / Вопросы проектирования открытой разработки угольных месторождений: Межвуз. сб. науч. тр. / Кузбас. политехн. ин-т. Кемерово, 1990. С. 5-10.

5. Цепилов И.И. Перспективные технологии открытой разработки сложноструктурных угольных месторождений / И.И. Цепилов, А.И. Корякин, В.Ф. Колесников, С. . Протасов / Кузбасс.гос. техн. ун-т, - Кемерово, 2000. -186с.

УДК 622.271

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ОЧЕРЕДНОСТИ ОТРАБОТКИ КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ДОЛЕВОГО УЧАСТИЯ ВНУТРИКАРЬЕРНОГО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ

к.т.н. Селюков А.В.
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия

Аннотация. Развитие технической оснащенности и объемов открытой угледобычи привлекает повышенное внимание к разрезам Кемеровской области. Применяемые системы разработки способствует прогрессирующему темпу нарушения земной поверхности. Негативное влияние открытых горных работ на окружающую среду можно свести к минимуму если увеличить долевое участие внутреннего отвалообразования.

Ключевые слова: структурные схемы очередности, внутреннее отвалобразование, карьер, отвал, породы вскрыши.

При открытой разработке наклонных и крутопадающих угольных месторождений Кемеровской области повсеместно распространены так называемые углубочные продольные системы разработки (по классификации акад. Ржевского В. В. [1]) с постепенным углублением горных работ с поверхности и до конечной глубины, при ориентировании фронта горных работ вдоль линии простирания пластов (свитовых залежей). При использовании таких систем разработки объемы внутреннего отвалообразования ограничены или отсутствуют полностью, происходит пикообразное нарастание вскрышных объемов во внешних отвалах и расстояния транспортирования, отторжение земельных ресурсов протекает прогрессирующими темпами.

В этой связи важной производственной задачей является изыскание технологических решений и способов разработки месторождений, обеспечивающих снижение экологической опасности и повышения ресурсосбережения горного производства за счет размещения вскрышных пород в выработанном пространстве при сокращении площадей под внешние отвалы и нарушения земной поверхности. Если этого не предусмотреть в настоящее время, то все угольные разрезы в ближайшие десятилетия будут ограничены собственными внешними отвалами вскрышных пород, и их дальнейшее развитее будет проблематичным.

На основе использования специального метода горно-геометрического анализа карьерного поля (определение параметров этапов-очередей отработки) и технологического конструирования систем разработки, создаются технологии отработки месторождений очередями при изменении направления подвигания фронта горных работ. При этом на первом этапе-очереди отработки осуществляется подвигание фронта горных работ вкрест простирания пластов до определенной промежуточной глубины разработки с преимущественно внешним отвалообразованием вскрышных пород, а на втором этапе-очереди отработки - подвигание по простиранию пластов до конечной глубины разработки с преимущественно внутренним отвалообразованием. Данные технологии получили название гибких благодаря динамическому подходу к определению границы между этапами-очередями для каждого конкретного месторождения. Они обеспечивают повышение широкого комплекса технико-экономических и экологических показателей при ведении горных работ на карьерах [2,3].

В составе гибких технологий на месторождениях рассматриваются, в числе других решений, схемы очередности отработки выемочных карьерных нолей с намечаемым переходным периодом (с той или иной степенью выраженности) от первой очереди ко второй для реализации обшей стратегии по изменению направления подвигания фронта горных работ. При этом основные схемы очередности находятся во взаимосвязи с природно-технологическими группами месторождений, которые по совокупности факторов влияют на форму и параметры карьерного поля (конечных контуров) в поперечном сечении и на структурные особенности (параметры) рабочих зон, образуя геометрический тип карьерного поля. В данном случае рассматриваются возможные структурные схемы очередности отработки при гибких технологиях для геометрических типов карьерных полей.

Из научных публикаций [1,3,4] известно, что при разработке наклонных и крутопадающих угольных залежей могут применяться следующие виды поперечных систем разработки: углубочно-сплошная, поэтапно-углубочная, блочно-слоевая, челночно-слоевая. Эти системы разработки характеризуется двумя этапами развития горных работ:1) формирование первоначальной емкости в границах карьерного поля для внутренних отвалов; 2) отработка основной части карьерного поля со складированием вскрышных пород в выработанном пространстве карьера.

В настоящее время отдельные элементы таких систем разработки находят применение при составлении проектной документации разрезов “Кедровский”, “Краснобродский”, “Виноградовский” и др. Однако, как показывает комплексный анализ проектного материала, внедрение в проектную практику систем разработки с внутренним отвалообразованием происходит не с позиции их комплексной реализации, а лишь фрагментарно. К

тому же внедрение в проектную практику должно сопровождаться дополнительным обоснованием их параметров и области эффективного применения, относительно конкретных горно–геологических и технологических условий действующего производства, т.е. должны дополнительно выполняться конструктивно-параметрические проработки применительно к условиям действующего разреза. Это обстоятельство объясняется следующим фактом. Общей теоретической базой формирования технологий с внутренним отвалообразованием послужили труды ученых горняков нашей страны, начиная с 60-80гг. прошлого столетия, а интенсивность ведения разработок в совокупности с постоянно изменяющимися условиями ведения открытых горных работ многократно возросла.

В качестве решения данной технологической проблемы может быть предложена трансформация углубочных продольных в поперечные системы разработки для режима действующих разрезов Кемеровской области.

Для изучения "физической природы" процесса изменения одного вида системы разработки в другой детально процесс технологической трансформации рабочей зоны карьерного поля распределен по следующим иерархическим уровням (рис. 1): I - основные виды поперечных систем разработки; II - этапы развития горных работ при поперечных системах разработки (подготовка емкости под внутренний отвал с учетом выработанного пространства, отработка основной части поля с преимущественным внутрикарьерным отвалообразованием); III – направления развития фронта вскрышных и добычных работ (в профиле и плане карьерного поля); IV – конструкция забойной и отвальной сторон карьерного поля (в угленасыщенной и безугольной зонах). Помимо этого при технологической трансформации карьерное поле дополнительно разбивается на этапы: А – продольная углубочная система разработки (выработанное пространство); В – контуры емкости под внутрений отвал; А1 – зона оставшейся части карьерного поля, где могут производиться горные работы в период сооружения емкости под отвал; С – основная (оставшаяся после сооружения выработки под внутренний отвал) часть карьерного поля.

С учетом практики работы угольных разрезов Кемеровской области и форм залегания свит наклонных и крутых угольных пластов выявлены природно-технологические формы и варианты размещения выработок под внутренний отвал в стратиграфических зонах карьерного поля: трапециевидная форма при двухбоковой рабочей зоне, треугольная форма при однобоковой рабочей зоне, трапециевидная форма при однобоковой рабочей зоне, линейно-косоугольная форма, криволинейно-замкнутая или разомкнутая форма, последовательно сдвоенные, строенные и т.п.

Эти вышеназванные формы карьерных полей образуют в совокупности пространственную форму первоначальной горной выработки.

На основе комплексного учета пространственного развития горных работ в рабочей зоне действующего разреза (выработанное пространство), запасов полезного ископаемого (угленосность свиты), годовой производственной мощности, текущего коэффициента вскрыши и других факторов разработан "механизм" адаптации технологий с внутренним отвалообразованием для режима действующего угольного разреза посредствам укрупненного алгоритма (рис.2) выбора технологии внутреннего отвалобразования и оценки ее влияния на технико-экономические показатели после реализации предложенных решений [5]. На рис. 2 приняты следующие обозначения Квт – текущий коэффициент вскрыши $м^3/т$; Тпгв - время сооружения первоначальной горной выработки, лет; Тэксп - длительность эксплуатации предприятия, лет; Qпр - промышленные запасы, млн. т; vфгр - скорость подвигания фронта работ, м/год; Уг - темп углубки, м/год; Нрз - высота рабочей зоны, м; L – длина карьера по верху, км; В – ширина карьера по верху, м; Vвгод - годовой объем вскрыши, млн.$м^3$; Vпвнеш – объем вскрыши размещаемой на внешнем отвале, млн.$м^3$; Агод – годовая производительность карьера, млн. т. (стрелками $\uparrow$, $\downarrow$ соответственно представлено увеличение или снижение показателя в алгоритме расчета).

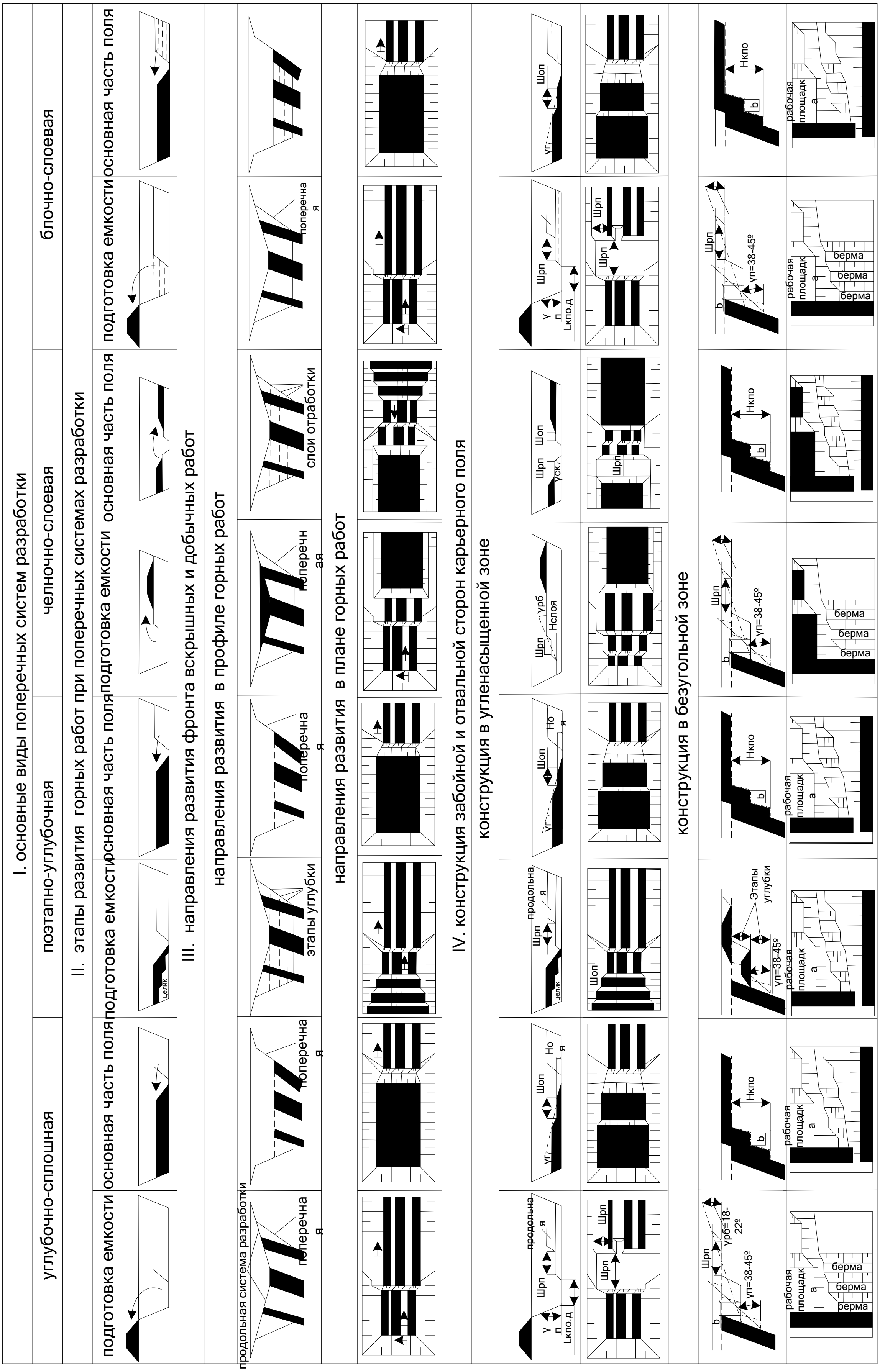


Рис. 1. Авторская интерпретация технологического процесса трансформации углубочных продольных в поперечные системы разработки для режима действующего разреза

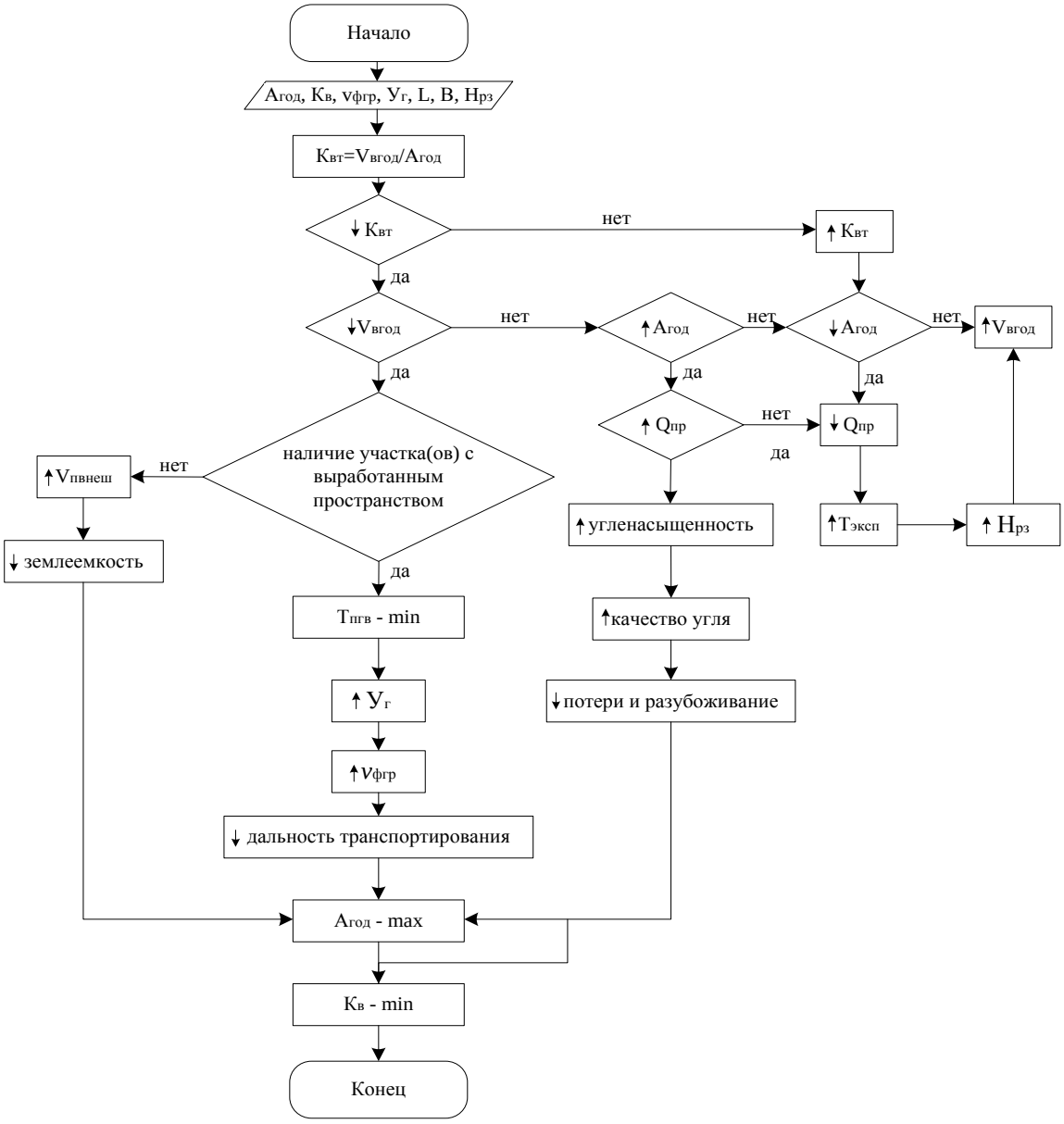


Рис. 2. Укрупненный алгоритм оценки параметров и показателей технологической адаптации внутреннего отвалообразования в режиме действующих разрезов

В рамках реализации предложенных решений внедрения поперечных систем разработки в производственную практику разработана компьютерная программа в среде Excel. Программа включает многостадийный подход к процессу трансформации углубочной продольной системы разработки в поперечную систему разработки: а) оценка состояния горных работ на угольном разрезе (по ключевым параметрам и показателям производственной деятельности); б) процесс технологического формирования того или иного вида поперечной системы разработки (местозаложение и параметры первоначальной выработки под внутренний отвал, вид технологии ведения открытых горных работ). в) оценка влияния процесса интеграции в действующее производство систем разработки внутренними отвалами.

Интеграция ресурсосберегающих систем разработки в действующее производство посредством расчетной методики, выраженной через выше представленный алгоритм, позволяет дополнительно обосновать их параметры, показатели и области эффективного

применения каждой из поперечных систем разработки. На рис. 3 представлены фрагменты интерфейса компьютерной программы при использовании средств Microsoft Excel с расчетами параметров и показателей формирования поперечных систем разработки в режиме действующего угольного разреза.

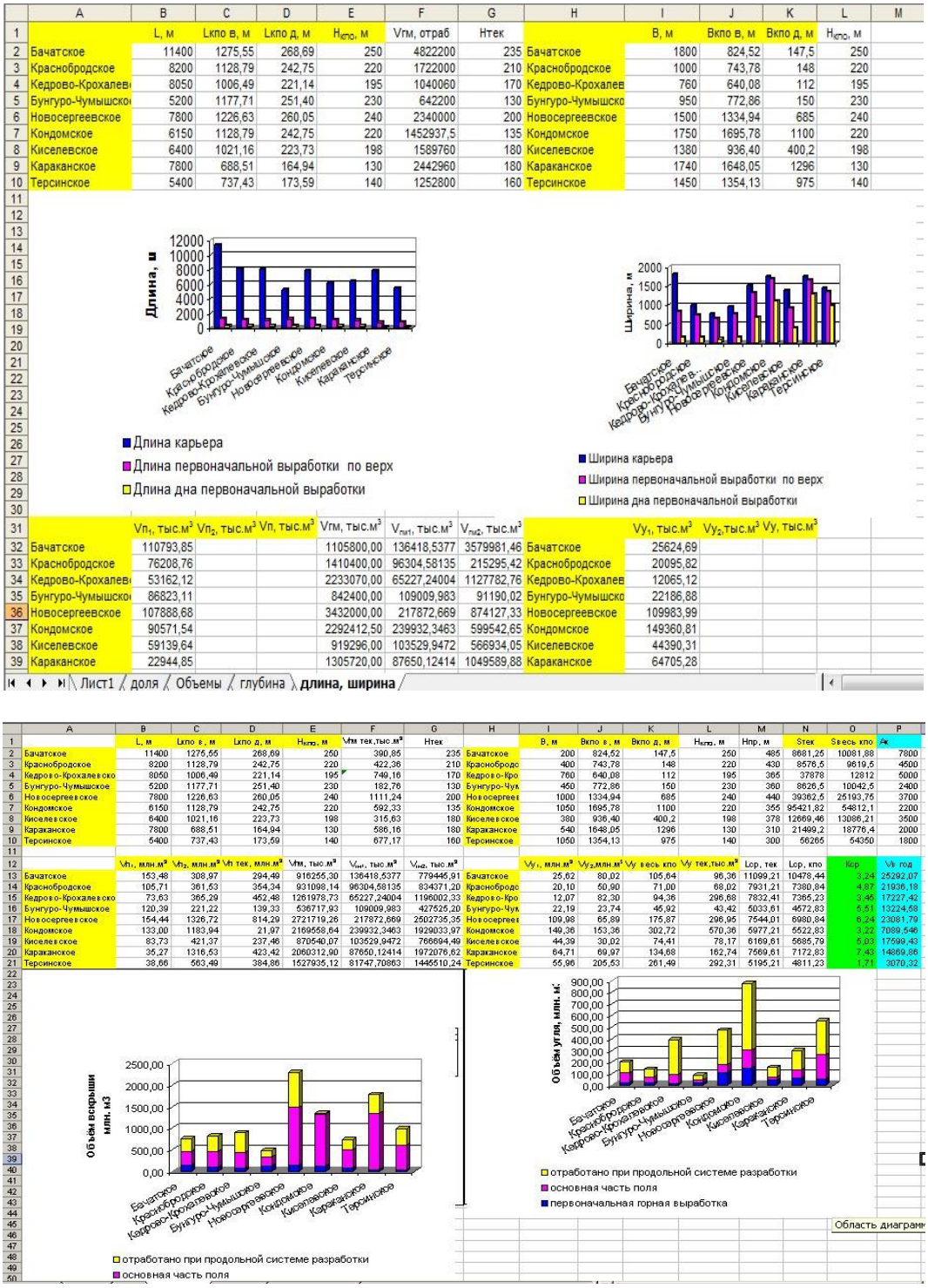


Рис.3. Фрагмент интерфейса компьютерной программы при использовании средств Microsoft Excel с расчетами параметров и показателей формирования поперечных систем разработки в режиме действующего угольного разреза

Программа позволяет осуществлять комплексную оценку технологий с внутренним отвалообразованием для режима действующего разреза: объемные параметры технологий

с внутренним отвалообразованием, долевое участие внешнего/внутреннего отвалов, пространственно-временной технологический переход; длительность перехода и доработки карьерного поля; интенсивность горных работ; годовую производственную мощность и др.

Данные, полученные по результатам расчетов, позволили обосновать следующие выводы и рекомендации:

- повышение эффективности угледобычи при отработке крутых и наклонных угольных пластов в рамках традиционных технологий ограничивается длительным неиспользованием выработанного карьерного пространства для размещения вскрышных пород;

-основным способом управления развитием горных работ, при котором достигается более раннее использование выработанного пространства для размещения пород вскрыши и дальнейшее непрерывное воспроизводство этого техногенного ресурса, является поэтапное изменение направления фронта горных работ;

- решением проблемы ресурсосбережения при отработке свит пластов крутого и наклонного падения является переход на предлагаемые новые технологии ведения открытых горных работ;

-объемы вскрыши при сооружении первоначальных выработок под внутренний отвал (с учетом выработанного пространства) не превышают 10–15 % от общих объемов вскрыши карьерного поля;

- длительность перехода от углубочной продольной к поперечным системам разработки при отработке свит наклонных пластов 3–5 лет, при отработке свит крутопадающих пластов 5–*8* лет, с максимальным долевым участием внутреннего отвала;

-для поддержания работы предприятия с достигнутыми технико-экономическими показателями в период сооружения первоначальной выработки годовая производственная мощность поддерживается через показатели интенсификации горных работ, а после перехода на внутрикарьерное отвалообразование может возрастать на 15-20%.

- условиям действующего угольного разреза можно адаптировать режим внутреннего отвалообразования через процесс технологической трансформации с поддержанием достигнутых технико-экономических показателей производственной деятельности и одновременным снижением землемкости горного производства.

Список литературы

1. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Ч. 2 . Технология и комплексная механизация. - М.: Недра, 1985. -549с.

2. Цепилов, И.И. Перспективные технологии открытой разработки сложноструктурных угольных месторождений / И. И. Цепилов, А. И. Корякин, В. Ф. Колесников, С. И. Протасов // Кузбасс.гос. техн. ун-т, - Кемерово, 2000. -186с.

3. Томаков, П.И. Природоохранные технологии открытой разработки крутых и наклонных угольных месторождений Кузбасса / П.И. Томаков, В.С. Коваленко. - М.: Уголь, 1992. - №1.

4. Селюков, А.В. Оценка технологического перехода действующего разреза на внутреннее отвалообразование по пространственно-временным критериям / Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Тр. XI Междунар. науч.-практ. конф. - Кемерово, 2009. – С. 112–114.

5. Селюков, А.В. Имитационное моделирование в среде Excel процесса перехода действующих разрезов Кузбасса на экологосберегающие поперечные системы разработки/ Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: Материалы X Международной научно-практической конференции. - Кемерово, 2013. - С. 206-210.

УДК 622.831.322

ТРЕБОВАНИЯ К ПОДСИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

д.т.н. Шадрин А.В., Бирева Ю.А.
Кемеровский государственный университет,
г. Кемерово, Россия

Аннотация. Обосновано, что подсистемы контроля внезапных выбросов угля и газа должны учитывать влажность угля, наличие нарушенных зон и зон повышенного горного давления впереди проводимых выработок и определять показатель выбросоопасности с учетом прочности угля, напряженного состояния, внутрипластового давления газа, что можно сделать с помощью одновременно применяемых спектрально-акустического и газоаналитического контроля призабойного пространства. При этом цифровая обработка акустического сигнала должна выполняться при частоте дискретизации не менее 4 кГц и длине экспериментальных выборок не менее 128 отсчетов.

Ключевые слова: внезапный выброс, факторы выбросоопасности, спектрально-акустический прогноз, газоаналитический контроль, цифровая обработка сигнала.

В настоящее время на угольных шахтах России используют, внедряют или приступают к внедрению подсистем контроля газодинамического состояния массива горных пород, входящих в структуру многофункциональных систем безопасности угольных предприятий [1]. Эти подсистемы предназначены преимущественно для текущего прогноза газодинамических явлений (ГДЯ), в том числе, внезапных выбросов угля и газа. Основаны они на использовании, в основном, двух геофизических методов контроля состояния горного массива – либо акустической эмиссии, либо спектрально-акустического метода (некоторые системы способны реализовывать оба этих метода), а также метода автоматизированного прогноза с применением аппаратуры контроля метана (в дальнейшем – газоаналитический метод) [2, 3].

Сущность прогноза ГДЯ методом акустической эмиссии (АЭ) состоит в регистрации импульсов АЭ, генерируемых при образовании трещин в массиве горных пород, и последующем анализе динамики активности АЭ (числа импульсов АЭ в единицу времени) по тому либо иному алгоритму [3]. Недостаток этого метода заключается в невысокой достоверности прогноза. Это обусловлено тем, что аномальная активность АЭ может свидетельствовать как о переходе контролируемого участка горного массива к состоянию, близкому к катастрофическому разрушению, так и о происшедшей частичной разгрузке призабойной зоны пласта и перемещению зоны повышенного горного давления (ПГД) вглубь массива [4].

Спектрально-акустический метод прогноза основан на анализе спектра шумов, генерируемых в горный массив работающим в забое горным оборудованием, и прошедших через контролируемое пространство к приемнику акустических колебаний. В связи с тем, что в первом приближении коэффициент затухания звука в твердом теле прямо пропорционален частоте колебаний и обратно пропорционален действующим на тело напряжениям, отношение амплитуды продетектированной высокочастотной части спектра к амплитуде продететированной низкочастотной части спектра с ростом напряжений возрастает [5-7]. Это отношение используется в качестве показателя выбросоопасности спектрально-акустического метода прогноза. При реализации этого метода прогноза системами с цифровой обработкой сигнала в качестве показателя выбросоопасности используется отношение суммы амплитуд высокочастотной части спектра к сумме амплитуд низкочастотной

части или отношение норм сигнала в высокочастотной и низкочастотной областях спектра [8].

Таким образом, показатели обоих упомянутых методов текущего прогноза выбросоопасности зависят преимущественно от одного фактора выбросоопасности, а именно – горного давления.

Газоаналитический метод прогноза выбросоопасности с помощью аппаратуры АКМ (АГЗ) [3] основан на анализе динамики концентрации метана вблизи забоя выработки в процессе ведения горных работ, поскольку концентрации метана у забоя определяется внутрипластовым давлением свободного метана [9]. Следовательно, данный метод преимущественно контролирует газовый фактор выбросоопасности.

Очевидно, что для обеспечения высокой достоверности прогноза необходимо одновременно учитывать все основные факторы, определяющие выбросоопасность разрабатываемого участка горного массива. К настоящему времени эти факторы хорошо известны и их учет, в основном, заложен в инструментальные методы прогноза выбросоопасности, основанные на анализе структуры пласта и начальной скорости газовыделения и выхода буровой мелочи при поинтервальном бурении разведочного шпура. К этим факторам относятся [2]: структура угольного пласта и вмещающих пород на предмет наличия нарушений дизъюнктивного или пликативного характера, а, следовательно, наиболее перемятой угольной пачки, характеризующейся низкой газопроницаемостью; высокая газоносность угля, особенно перемятой пачки; влажность угля (при влажности более 6% выбросы никогда не происходили); и обязательно напряженное состояние призабойного пространства. На напряженное состояние призабойного пространства влияют целики, оставленных при разработке выше- или нижележащих горизонтов, вхождение в зону влияния которых также повышает опасность развязывания ГДЯ.

Отсюда следует первое требование к подсистемам контроля газодинамического состояния массива горных пород при влажности угля менее 6%: они должны контролировать приближение к зонам нарушения структуры горного массива и угольного пласта, в частности, приближение к зоне влияния целиков.

При приближении к таким зонам подсистемы контроля внезапных выбросов угля и газа должны контролировать процессы в горном массиве, приводящие к развязыванию катастрофического явления. Для этого рассмотрены основные процессы пластической деформации призабойного пространства, предшествующие внезапному выбросу. Этих процессов – два: отжим и развитие трещин.

Процесс развития трещин и создания блочной структуры горного массива

При достижении напряжением, действующим на призабойную часть выработки, значений примерно в 70% от предела прочности при сжатии (растяжение, сдвиг), в угольном пласте начинают развиваться (скачкообразно расти) трещины (рис. 1). В зависимости от условий нагружения отдельные направления роста трещин являются наиболее вероятными. Поскольку условия нагружения пласта в процессе его отработки переменные, то изменяются и наиболее вероятные направления развития трещин [10]. Это приводит к тому, что плоскости трещин могут пересекать друг друга, образуя блочную структуру.

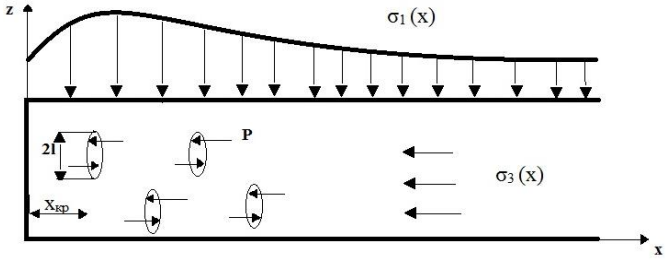


Рис. 1. Призабойное пространство в поле нормальных напряжений σ_1 - σ_3, ослабленное трещинами, заполненными газом под давлением P

В работе [10] показано, что в случае равномерного нагружения пласта на большом удалении от забоя развитие трещин не происходит. По мере приближения к нагруженной зоне или к обнаженной поверхности горной выработки вертикальная компонента напряжений возрастает и становится не равной горизонтальной, в результате увеличивается интенсивность развития трещин. Это приводит к увеличению плотности трещин на единицу объема горной массы. А это в свою очередь ведет к тому, что по мере приближения к обнаженной поверхности выработки размеры формируемых пересекающимися трещинами блоков уменьшаются (рис. 2).

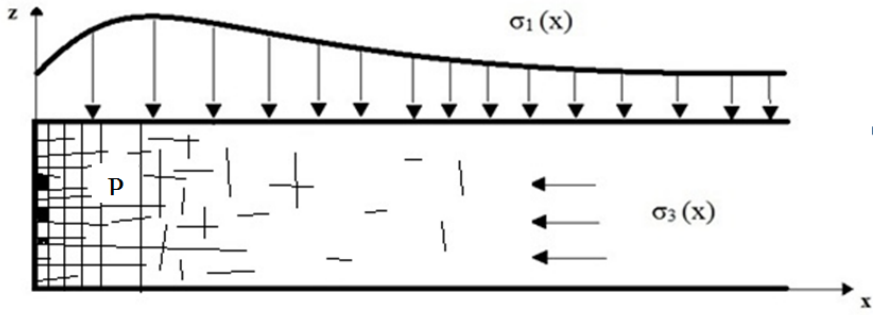


Рис. 2. Развитие блочной структуры призабойного пространства под действием сил горного (σ_1 - $\sigma_{3)}$ и внутрипластового газового (Р) давления

Таким образом, в процессе развития трещин влияющими на выбросоопасность факторами являются величина действующих напряжений и давления газа в трещинах, при которых происходит их скачкообразный рост, а также прочность угля. Известно, что для данной расчетной схемы критерий выбросоопасности ($К_{кр}$), выраженный через показатель выбросоопасности спектрально-акустического метода контроля состояния горного массива, определяется следующим выражением [7]:

$$К_{кр} \le \exp\left[\ln K_{кр,0}\left(1-\frac{D_k}{f_1(q)}\sqrt{\frac{Q(C_m-C_ф)}{100}}\right)\right], \quad (1)$$

где коэффициенты $K_{кр,0}$ (показатель опасности в отсутствии газа в пласте) и $D_к$ (параметр, учитывающий свойства пласта и вид режущего органа) определяются опытным путем; $f_1(q)$ рассчитывается по результатам измерения прочности q наиболее слабой угольной пачки пласта по формуле $f_1(q)=2.2\left(\frac{q}{110-q}\right)^2$; текущее значение C_m концентрации метана в атмосфере выработки *и* фоновое значение $C_ф$, замеренное перед началом ведения горных работ, измеряются аппаратурой газовой защиты (АГЗ);. Q – расход воздуха вентилятора местного проветривания (ВМП), проветривающего выработку, м^3/с.

Как видно из (1), критическое значение показателя выбросоопасности, определенное спектрально-акустическим методом, должно быть скорректировано в зависимости от газового фактора и прочности угля. Это позволит повысить точность прогноза и снизить объем и стоимость противовыбросных мероприятий в зонах, где реальной опасности нет или она недостаточна для развязывания выброса.

Процесс отжима и потеря устойчивости горного массива вследствие выдавливание блока угля

Предположим, что под действием сил горного и газового давления реализовался второй процесс пластической деформации призабойного пространства, влияющий на выбросоопасность, т.е. произошла потеря устойчивости горного массива путем выдавливания блока угля в выработку (рис. 2). Для этой ситуации справедливо следующее выражение:

$$K_{кр} = \frac{F_а}{F_п} = \frac{F_{б.д.}+F_г \pm |F_m|}{F_{с.в.т.}}, \quad (2)$$

где первое слагаемое в числителе $F_{б.д.}$ соответствует силе бокового давления (горизонтальной компоненты нормальных напряжений), второе слагаемое $F_г$ - силе газового давления, третье F_m - силе тяжести, а знаменатель $F_{с.в.m.}$ - силам сцепления и внутреннего трения угля в массиве.

В этом условии в числителе приведены активные (инициирующие), а в знаменателе пассивные (препятствующие) силы выдавливания блока в выработкуиз пласта в забое.

Для простоты будем рассматривать горизонтальную выработку, поэтому силой тяжести можно пренебречь. Тогда выражение (2) запишется:

$$K_{кр} = \frac{F_а}{F_п} = \frac{F_{б.д.}+F_г|}{F_{с.в.m.}} = K_д + K_Г, \quad (3)$$

где $K_д$ - критическое значение показателя выбросоопасности, обусловленного лишь горным давлением; $K_Г$ – критическое значение показателя выбросоопасности, обусловленного лишь давлением газа.

Для данных условий также получено следующее приближенное выражение для критического значения показателя выбросоопасности спектрально-акустического метода контроля, с учетом правок, учитывающих давление газа в пласте и прочность угля:

$$K_{кр} \le exp\left[lnK_{т0}\left(1 - \frac{D_k\sqrt{\frac{Q(C_т - C_ф)}{100}}}{f_2(q)}\right)\right], \quad (4)$$

где K_{m0} – текущее значение показателя выбросоопасности спектрально-акустического прогноза при отсутствии газа в массиве; Q – расход воздуха на проветривание выработки, м^3/с; C_m и $C_ф$ – соответственно текущее и фоновое значения концентрации метана в атмосфере выработки у забоя, %; $f_2(q) = 0.08q\dfrac{1+\sin(0.04q)}{1-\sin(0.04q)}$ – функция прочности, определяемая по прочности q угля в наиболее перемятой пачке; $D_к$ – корректирующий параметр для учета газового фактора выбросоопасности.

При таком автоматизированном прогнозе текущее значение K_m показателя выбросоопасности спектрально-акустического прогноза сравнивают с предельным значением $K_{кр}$ показателя выбросоопасности, рассчитанным с учетом концентрации метана в выработке и прочности угля, и если $K_m < K_{кр}$, контролируемую зону относят к невыбросоопасной, а если $K_m \ge K_{кр}$, контролируемую зону относят к выбросоопасной.

Современные системы автоматизированного прогноза внезапных выбросов угля и газа применяют цифровую обработку измеряемых параметров. Качество цифровой обработки сигнала зависит от параметров преобразования аналогового сигнала, снимаемого с датчика, в цифровую форму. К этим параметрам относятся частота дискретизации и длина экспериментальных выборок (блоков, на которые разбивается измеряемый сигнал), с которыми проводится быстрое преобразование Фурье (БПФ) для определения спектрального состава сигнала.

В соответствии с теоремой отсчетов В.А. Котельникова для корректного оцифровывания сигнала частота дискретизации аналогового сигнала должна превышать верхнее значение частоты спектра преобразуемого сигнала не менее чем в два раза [11]. Во всех известных многофункциональных системах безопасности угольных шахт, применяющих акустические методы измерения сигналов, снимаемых с электродинамических геофонов с рабочим диапазоном частот до 1-1,5 кГц, это правило используется, и в технических характеристиках частота дискретизации обязательно указывается и, как правило, она равна не менее 4 кГц.

Другой параметр - длина экспериментальных выборок, - определяет разрешение по частоте $\boldsymbol{\Delta f}$ в соответствии с выражением [11]:

$$\boldsymbol{\Delta f} = \frac{f_д}{N}, \quad (5)$$

где $f_д$ - частота дискретизации, а N – длина выборки. Несмотря на то, что этот параметр существенно влияет на точность определения спектрального состава сигнала, в технических характеристиках известных многофункциональных систем безопасности угольных шахт он не приводится, как малозначащий. Нами показано, что от выбора длины выборки существенно зависит точность определения показателя выбросоопасности, определенного спектрально-акустическим методом [8]. Установлено, в частности, что для обеспечения относительной погрешности измерения показателя выбросоопасности спектрально-акустическим методом менее 5% длина выборки не должна быть менее 128 отсчетов.

Таким образом, подсистемы контроля внезапных выбросов угля и газа многофункциональной системы безопасности угольных предприятий должны при определении степени выбросоопасности пластов с влажностью менее 6% учитывать наличие нарушенных зон и зон ПГД впереди проводимых выработок. Определять показатель выбросоопасности они должны с учетом прочности угля, напряженного состояния, внутрипластового давления газа. Прочность наиболее перемятой пачки угля можно периодически измерять прочностномером конструкции ИГД им. А.А. Скочинского. Для измерения напряженного состояния наиболее аналитически и экспериментально обоснован спектрально-акустический метод. А давление газа в пласте можно оценивать по концентрации метана вблизи забоя выработки, измеряемой аппаратурой газовой защиты или портативным газоанализатором. При этом цифровая обработка акустического сигнала в случае использования электродинамических преобразователей (геофонов) и отсутствии электромагнитных помех с частотами выше 2 кГц должна выполняться при частоте дискретизации не менее 4 кГц и длине экспериментальных выборок не менее 128 отсчетов. При наличии таких помех устранение их влияния возможно путем увеличения частоты дискретизации, что не влияет на точность определения показателя выбросоопасности.

Список литературы

1. Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. Статей / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2013. – 295 с.

2. Шадрин, А.В. Алгоритмы способов текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов / А.В. Шадрин, Ю.А. Бирева // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2014. – С.390-394.

3. Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах: Сборник документов. Серия 05. Выпуск 2 / Колл. авт. – 4-е изд., испр. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2011. – 304 с.

4. Шадрин, А.В. Автоматизированный мониторинг противовыбросных мероприятий при разработке угольных пластов: дис. … д-ра техн. наук: 25.00.20 / Александр Васильевич Шадрин; Кузбасский гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2004. – 356 л.

5. Мирер, С.В. Спектрально-акустический прогноз выбросоопасности угольных пластов / С.В.Мирер, О.И. Хмара, А.В. Шадрин. Кемерово: Кузбассвузиздат, 1999. - 92 с.

6. Шадрин, А.В. Основы автоматизированного непрерывного ГДЯ-мониторинга на угольных шахтах Кузбасса / А.В. Шадрин, В.А. Коноваленко // Вестник КузГТУ. - 2001. - №3.-С.28-31.

7. Шадрин, А.В. Акустический двухчастотный метод контроля напряженного состояния горного массива [Текст] / А.В. Шадрин, М.В. Дегтярева // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2013, №1.2. – С. 55-59.

8. Шадрин, А.В. Влияние параметров цифровой обработки сигнала на точность спектрально-акустического прогноза выбросоопасности / А.В. Шадрин, Ю.А. Бирева // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014, №6. – С. 36-38.

9. Ходот, В.В. Внезапные выбросы угля и газа. М.: Гос. науч.-техн. изд-во литры по горному делу, 1961. – 363 с.

10. Шадрин, А.В. Факторы, определяющие развитие трещин в угольных пластах [Текст] / А.В. Шадрин, М.В. Дегтярева // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2013, №1.1. – С. 127-132.

11. Смит, Стивен. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников / Стивен Смит; пер. с англ. А.Ю. Лисовича, С.В. Витязева, И.С. Гусинского. – М.: Додэка-XXI, 2012, - 720 с.

УДК 622.235; 622.831

ВЕЛИЧИНЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАССОВОГО ВЗРЫВА НА ТАШТАГОЛЬСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

к.т.н. Машуков И.В., Серг А.Г., Егоров Д.А., Семин А.А.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Представлены результаты регистрации сейсмических колебаний поверхности от воздействия массового взрыва на Таштагольском месторождении при отработке рудных запасов Восточного участка Таштагольского месторождения. Определены значения максимальных скоростей колебаний земной поверхности, которые в 8,3 раза меньше допустимых значений.

Ключевые слова: массовый взрыв, взрывчатое вещество, сейсмические колебания, амплитуда, сейсмограмма, допустимые скорости колебаний.

Отработка Таштагольского железорудного месторождения производится с производством массовых взрывов с величиной заряда взрывчатого вещества до 200 тонн при системе разработки с этажным обрушением блоков и до 50 тонн при камерной системе разработки.

Массовый взрыв по блоку № 3 (2 слой), расположенному на Восточном участке в этаже (–140)÷(–70) м, произведен 6 июля 2014 г. Суммарная масса ВВ на взрыв составила 49,2 т. Балансовые запасы по блоку равны 168 тыс. т. Применялись пучки сближенных скважин диаметром 105 мм общей длиной 1,5 тыс. м. Удельный расход ВВ на отбойку составил 0,591 кг/т. Заряды ВВ в группах инициировали неэлектрической системой ИСКРА-Ш с замедлением от 0 до 450 мс. Масса ВВ в ступени замедления составляла от 191 до 13607 кг.

Для определения величин сейсмических колебаний поверхности от воздействия массового взрыва на Таштагольском месторождении от воздействия массового взрыва на Таштагольском месторождении проведена их регистрация с использованием сейсмоприёмников СМ-3КВ, аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) модели Е-14-440 с записью сигналов на жёсткий диск ПК. Обработка и регистрация сейсмических сигналов в цифровом коде с АЦП модели Е-14-440 осуществляется программой «L-GRAF». Для обработки кодовых значений цифрового сигнала, записанного программой "L-GRAF" в значения скорости смещения грунта и пересчета номера отсчета во временной интервал разработана программа "Seismikanaliz" на языке Pascal в среде Delphi. Программа позволяет определить сигнал из всего файла данных и выделить его для обработки и размещения в Excel для распечатки в графическом виде. Методика обработки и регистрации разработана в ИДГ РАН [1, 2] и широко применяется при оценке уровня сейсмического воздействия массовых взрывов на шахте Таштагольского филиала ОАО «Евразруда» [3] и при оценке

уровня сейсмических колебаний поверхности при разработке угольных разрезов Кузбасса [4 - 6].

Регистрация сейсмических колебаний земной поверхности проведена 06.07.2014 года в двух пунктах – у железнодорожного вокзала и у техникума г. Таштагол. Расстояние от центра массового взрыва до пункта регистрации у железнодорожного вокзала составляет 400 м по горизонтали и 500 м по высоте, абсолютное расстояние по прямой – 640 м. Расстояние от центра массового взрыва до пункта регистрации у техникума составляет 4200 м по горизонтали и 500 м по высоте и абсолютное – 4230 м. Сейсмограммы скорости сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала в вертикальном и двух горизонтальных направлениях приведены на рис. 1.

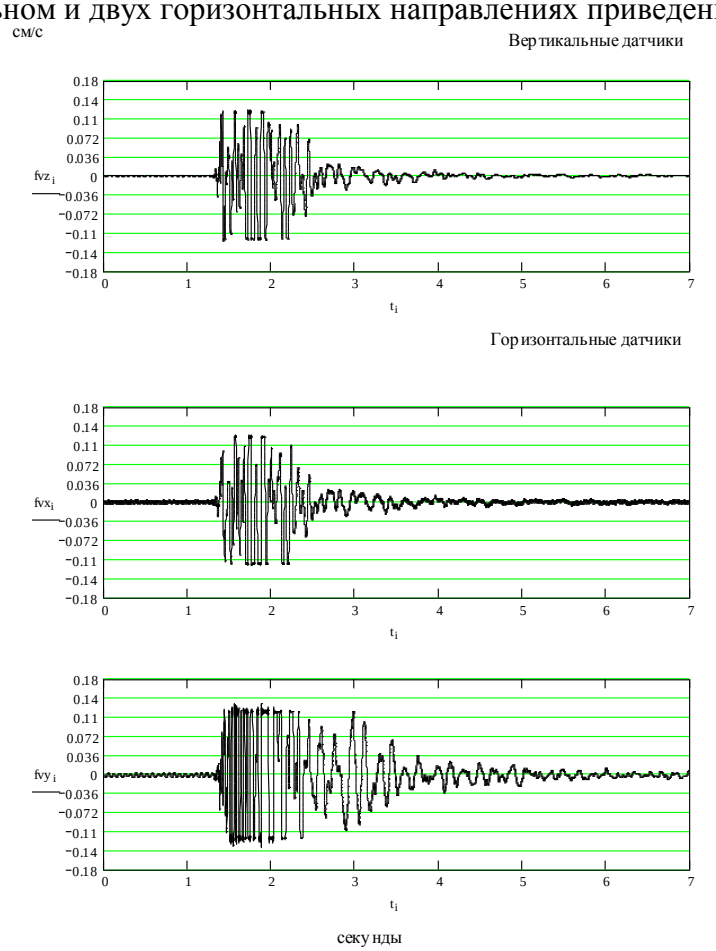


Рис. 1. Сейсмограмма скорости сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала после массового взрыва

Первая сейсмограмма зарегистрирована вертикальным датчиком и скорость вертикальных колебаний земной поверхности составила 0,12 см/с. Вторая сейсмограмма зарегистрирована горизонтальным датчиком, ориентированным на север-юг по направлению на массовый взрыв, третья сейсмограмма зарегистрирована горизонтальным датчиком, ориентированным на запад-восток. Длительность вертикальных сейсмических колебаний составила 2,5 с, из которых основной высокочастотный импульс с максимальной амплитудой имеет длительность 1 с, а длительность низкочастотного импульса с амплитудой 0,04 см/с составила 1,5 с.

Сейсмограмма скорости горизонтальных колебаний земной поверхности по направлению на массовый взрыв аналогична сейсмограмме скорости вертикальных колебаний и по амплитуде и по длительности. Сейсмограмма скорости горизонтальных колебаний земной поверхности в перпендикулярном направлении линии на массовый взрыв имеет существенные отличия: общая длительность сейсмических колебаний в этом направлении составила 4,5 с и имеется низкочастотный импульс с высокой амплитудой.

За высокочастотным импульсом с максимальной амплитудой 0,12 см/с и длительностью 1 с следует низкочастотный импульс с высокой амплитудой 0,12 см/с и длительностью 1,5 с. Далее амплитуда колебаний снижается до 0,02 см/с в течение 2 с.

При сравнении сейсмограмм скорости вертикальных и горизонтальных колебаний земной поверхности можно сделать вывод, что по критерию пропорциональности количества выделившейся сейсмической энергии площади сигнала, максимальные сейсмические колебания в ближней зоне массового взрыва являются горизонтальные и направлены на запад-восток. Это объясняется формированием сейсмической волны направлением отбойки и перемещением отбитой горной массы, в основном, в этом направлении. Следует отметить, что выбранный диапазон измерений меньше действующих величин скорости колебаний, поэтому произошло срезание максимальных импульсов и на сейсмограммах наблюдается «полочка» на амплитуде 0,12 см/с. Аппроксимируя максимальные значения импульсов по треугольному контуру всего сейсмического сигнала - реальная величина скорости сейсмических колебаний оценивается величиной 0,2-0,3 см/с.

Сейсмограммы ускорений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала приведены на рис. 2. Для вертикальных колебаний ускорения составляют 36 см/с^2 на первой секунде в высокочастотной части сигнала. Для горизонтальных колебаний величина ускорений в два раза ниже и составляют 16 см/с^2.

Сейсмограммы смещений сейсмических колебаний земной поверхности приведены на рис. 3. Максимальные смещения наблюдаются для вертикальных колебаний, которые составляют диапазон 0,016 см, а смещения горизонтальных колебаний составляют 0,02 см.

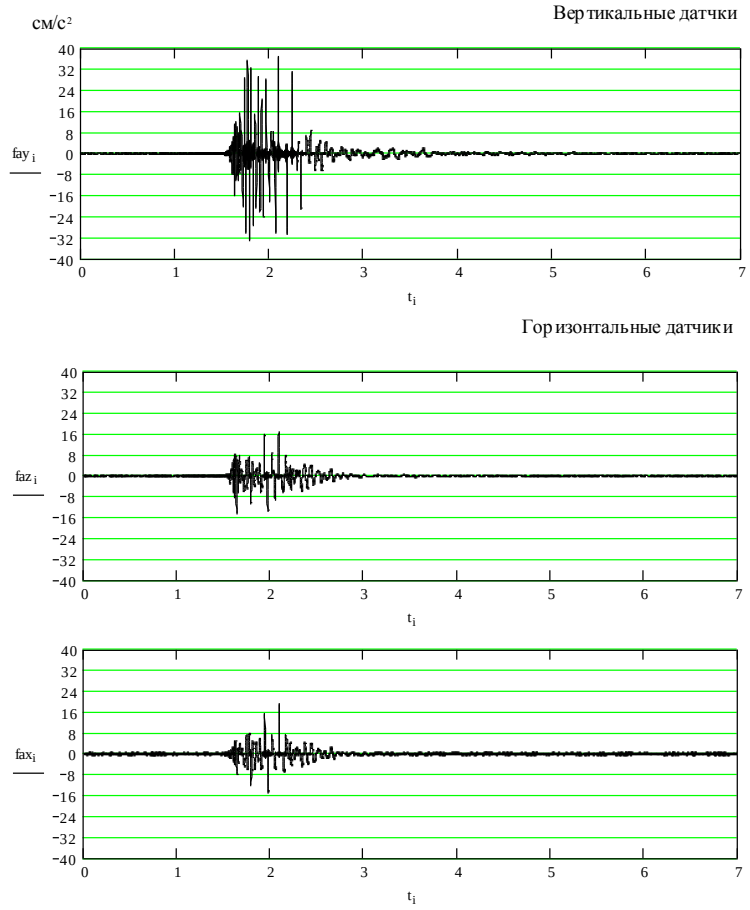


Рис. 2. Сейсмограмма ускорений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала после массового взрыва блока

Амплитудно-частотные характеристики сейсмических колебаний земной поверхности приведены на рис. 4. По полученным сейсмограммам выявлены пиковые значения

вертикальных колебаний с частотой 1, 2, 3, 6 и 10 Гц. Для горизонтальных колебаний характерны максимальные значения колебаний с частотой 1, 5 и 6 Гц и отсутствие колебаний с частотой 10 Гц.

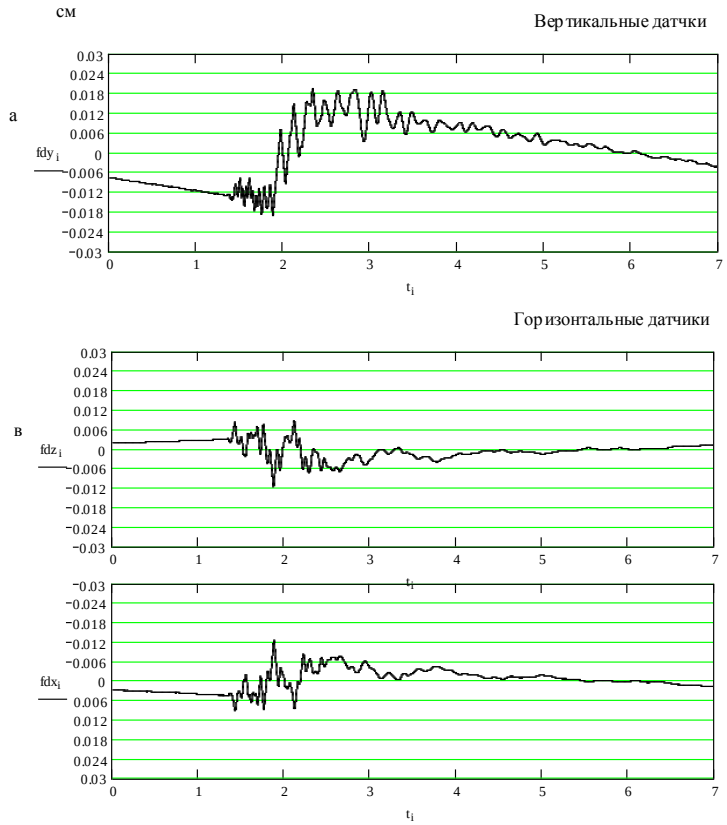


Рис. 3. Сейсмограмма смещений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала после массового взрыва

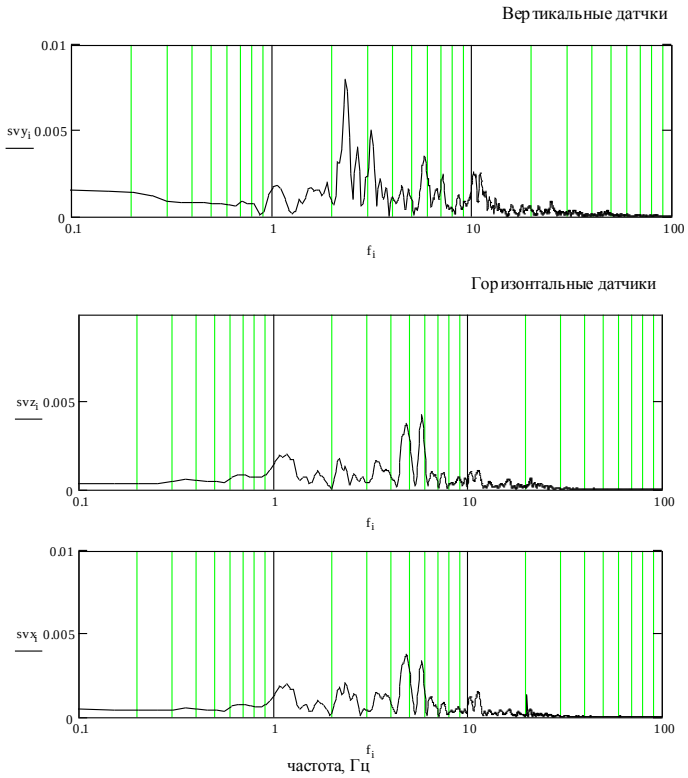


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у железнодорожного вокзала после массового взрыва

Сейсмограммы скорости сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у техникума в вертикальном и двух горизонтальных направлениях приведены на рис. 5.

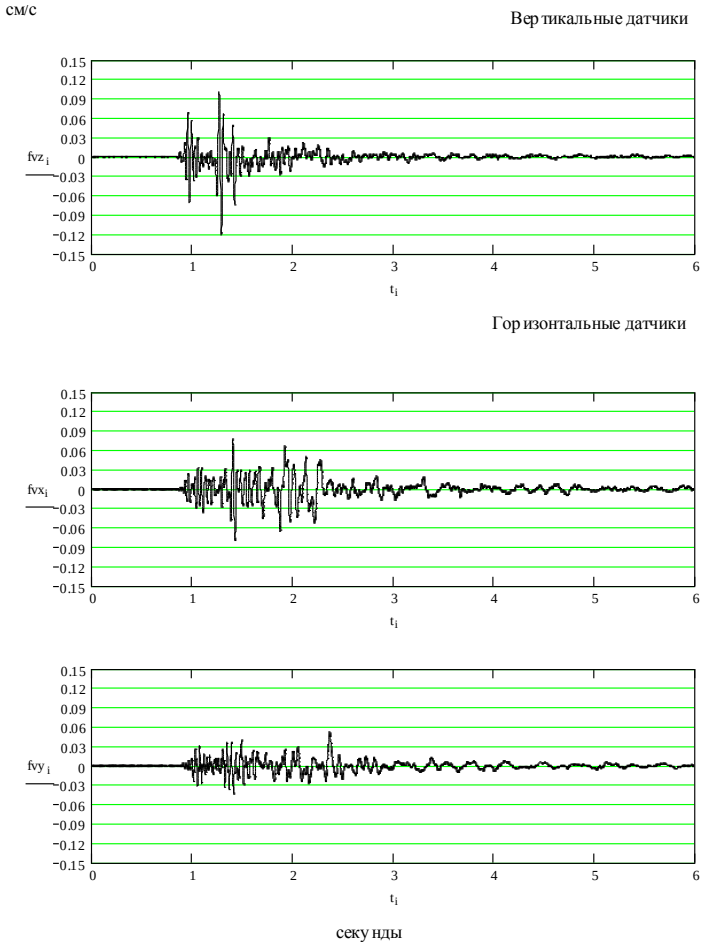


Рис. 5. Сейсмограмма скорости сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации (у техникума) после массового взрыва

Первая сейсмограмма зарегистрирована вертикальным датчиком, вторая сейсмограмма зарегистрирована горизонтальным датчиком, ориентированным на запад-восток по направлению на массовый взрыв, третья - горизонтальным датчиком, ориентированным на север-юг. Скорость вертикальных колебаний земной поверхности составила 0,12 см/с. Длительность вертикальных сейсмических колебаний составила 1,5 с, из которых основной высокочастотный импульс с максимальной амплитудой имеет длительность 0,5 с, а длительность низкочастотного импульса с амплитудой 0,03 см/с составила одну секунду.

Максимальная скорость горизонтальных колебаний земной поверхности по направлению на массовый взрыв составила 0,08 см/с, длительность - 3,5 с. Максимальная скорость горизонтальных колебаний земной поверхности по направлению север-юг составила 0,05 см/с, длительность - 3,5 с.

Сейсмограммы ускорений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у техникума приведены на рис. 6. Для колебаний максимальные ускорения составляют 3,2 см/с^2. Для горизонтальных колебаний по направлению на массовый взрыв, на запад-восток величина ускорений в два раза выше и составляют 7,2 см/с^2. Это направление совпадает с направлением отбойки горного массива. Для горизонтальных колебаний по направлению на север-юг величина максимальных ускорений составляет 4,8 см/с^2.

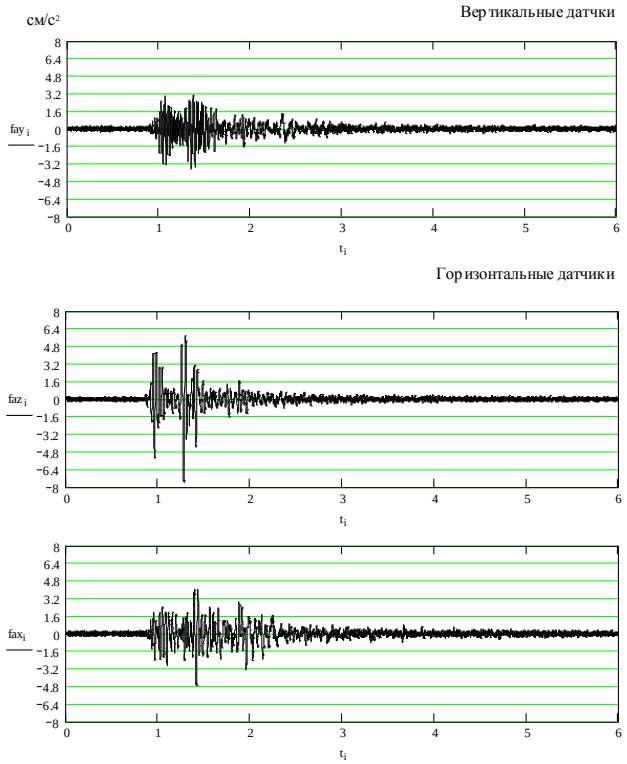


Рис. 6. Сейсмограмма ускорений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у техникума после массового взрыва

Сейсмограммы смещений сейсмических колебаний земной поверхности приведены на рис. 7.

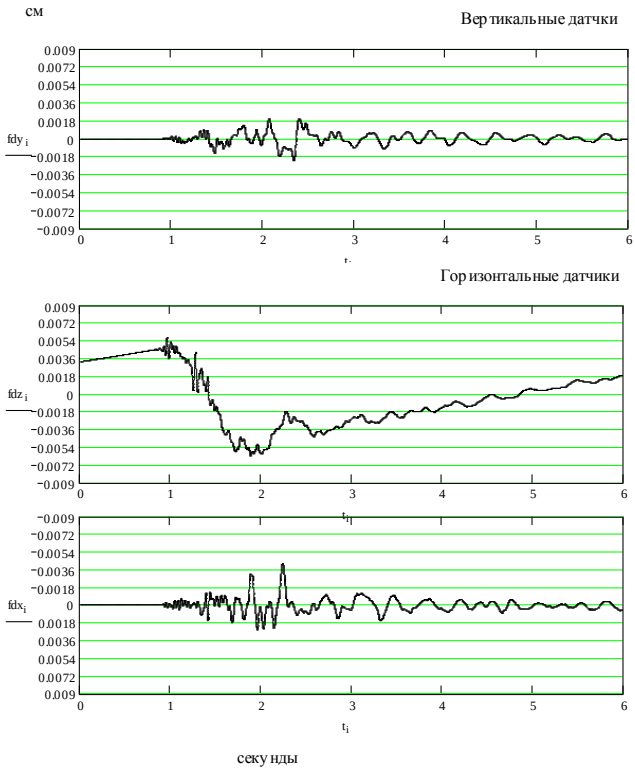


Рис. 7. Сейсмограмма смещений сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у техникума после массового взрыва

Максимальные смещения наблюдаются для горизонтальных колебаний по направлению на массовый взрыв, которые составляют диапазон 0,01 см, а смещения горизон-

тальных колебаний ориентированным на север-юг составляют 0,004 см. Максимальные смещения вертикальных колебаний составляют незначительную величину 0,0018 см.

Амплитудно-частотные характеристики сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у техникума приведены на рис. 8. По полученным сейсмограммам выявлены пиковые значения вертикальных колебаний с частотой 1, 2,5, 5, 6 и незначительный пик для колебаний с частотой 10 Гц.

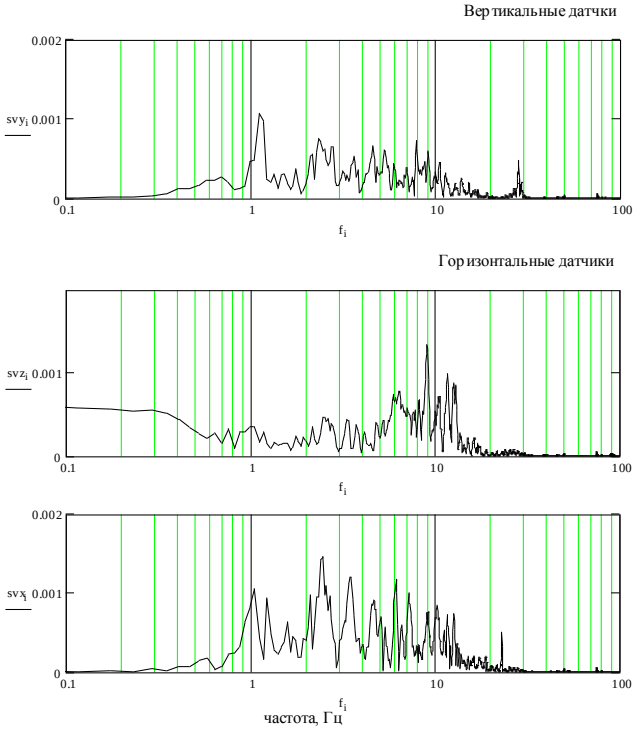


Рис. 8. Амплитудно-частотные характеристики сейсмических колебаний земной поверхности в пункте регистрации у техникума после массового взрыва

Для горизонтальных колебаний по направлению на массовый взрыв характерны максимальные значения колебаний с частотой 2,5, 6, 9 и 10 Гц. Для горизонтальных колебаний по направлению на север-юг характерны максимальные значения колебаний в широком диапазоне спектра с частотой 1, 2,5, 3,5, 5, 6, 7, 9 и 10 Гц. Максимальные величины вертикальных и горизонтальных скоростей сейсмических колебаний приведены в табл.

Таблица

Величина максимальной скорости сейсмических колебаний

Дата регистрации, (масса ВВ, кг)	Пункт регистрации (расстояние, м)	Максимальная скорость сейсмо-колебаний, см/с	Направление колебаний
06.07.2014 г. (49200 кг)	Железнодорожный вокзал (пункт 1) (640 м)	0,12	вертикальные
		0,12	горизонтальные в направлении массового взрыва (север-юг)
		0,12	горизонтальные перпендикулярные направлению массового взрыва (запад-восток)
	Техникум (пункт 2) (4230 м)	0,12	вертикальные
		0,08	горизонтальные в направлении массового взрыва (запад-восток)
		0,05	горизонтальные перпендикулярные направлению массового взрыва (север-юг)

В измерениях по трем направлениям максимальные величины скорости сейсмических колебаний земной поверхности составляют допустимые значения. Максимальная величина скорости сейсмических колебаний земной поверхности в составила 0,012 см/с, что в 8,3 раз меньше предельно допустимой.

Таким образом, дана оценка сейсмического воздействия массового взрыва на окружающую среду с установлением значения максимальной скорости колебания земной поверхности, равное 0,12 см/с, которое в 8,3 раза меньше допустимого значения и определена сейсмическая энергия толчков от $3{,}6 \cdot 10^3$ до 10^5 Дж в районе ортов №№ 2 и 3, а также толчков с энергией 10^7 Дж за пределами шахтного поля.

В г. Таштагол жилые здания по конструктивным характеристикам относятся к бескаркасным зданиям с несущими стенами. Жилые здания по состоянию относятся к II категории (в несущих конструкциях трещины до 0,5 мм; в стенах из кирпича и крупных блоков до 3 мм; вертикальность массива фундамента нарушена, повреждения в размере до 40 %). По СНиП 2.01.07-85 [7] здания относятся к II классу ответственности. Грунты (суглинки и глины мягкопластичные) в основаниях зданий и сооружений г. Таштагол согласно классификации ГОСТ 25100-95 соответствуют II группе. Допустимые скорости колебаний грунта для бескаркасных с несущими стенами здания социального назначения (больница, школы, техникум, дома культуры) с II классом ответственности по данным РТМ 36.22.91 [8] составляют 1 см/с для жилых зданий - 2 см/с.

По данным сейсмостанции "Таштагол", взрыв зарегистрирован с энергетическим классом 7,4; эквивалент по ВВ составил 74,1 т.

После массового взрыва эквивалент по ВВ составил 74,1 т по формуле $P_{экв} = 10 \cdot \lg A_{max} – 0{,}1/0{,}9$, т. Энергетический класс взрыва 7,4 ($2{,}8 \cdot 10^7$ Дж); энергетический класс равен lgE, где E — сейсмическая энергия в очаге взрыва, Дж. $E = 10^K$; $K = \lg t \cdot 2{,}76+2{,}24$. Полная длительность записи — 77 с. Зарегистрированы толчки с сейсмической энергией от 10 до $2 \cdot 10^7$ Дж (рис. 9). Крупные толчки с энергией $3{,}6 \cdot 10^3$ и 10^5 Дж наблюдались в орте № 2 и в створе ортов №№ 2 и 3 (запад). Слабые толчки с энергией $10\text{-}10^2$ Дж — в ортах №№ 01, 2-5. Через 9 ч после взрыва за пределами шахтного поля произошел толчок с энергией $2 \cdot 10^7$ Дж (рис. 9).

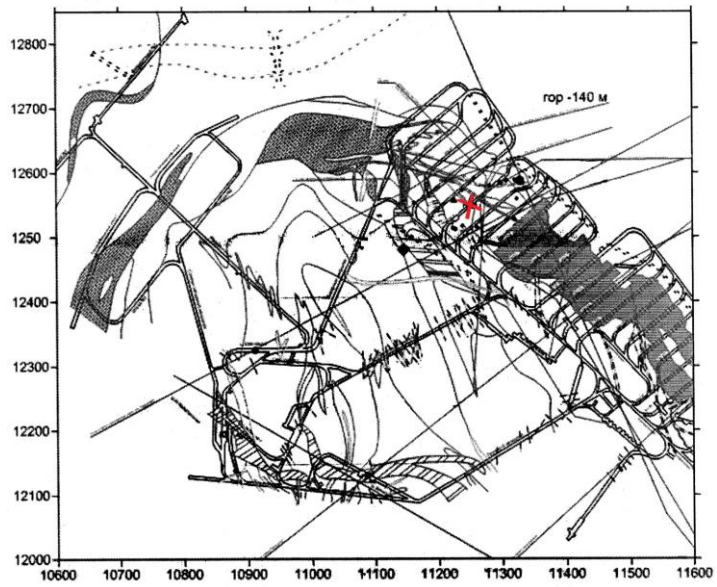


Рис. 9. Поле месторождения при массовом взрыве. × – центр взрыва

Список литературы

1. Еременко А. А., Опыт проведения мощного массового взрыва в условиях высокого горного давления на Шерегешевском месторождении / А.А. Еременко, П.А. Филиппов, А. П. Гайдин, И.В.Машуков и др. // Горный информационно-аналитический бюлл етень. Москва, МГГУ, М., 2002, № 1, С. 92 – 94.

2. Еременко А.А., Сейсмическое действие технологических взрывов на удароопасных месторождениях / А.А.Еременко, В.Н. Филиппов, В.И.Куликов, И.В.Машуков и др. // Кемерово: Вестник Российской академии естественных наук, Западно-Сибирское отделение. 2005 г., Выпуск 7, С. 148-158.

3. Машуков И.В., Регистрация сейсмических колебаний от подземных массовых взрывов // Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва, МГГУ, М., 2014, № 4, С. 216 – 221.

4. Доманов В.П., Мониторинг сейсмического воздействия на охраняемые объекты при производстве массовых взрывов, проводимых на разрезах Кузбасса / В.П. Доманов, И.В. Машуков // Вестник научного центра по безопасности в угольной промышленности / ВостНИИ.- Кемерово.- 2013. - №1-1. - С. 60-64.

5. Машуков И.В., Расчет безопасных расстояний по сейсмическому воздействию массовых взрывов на здания и сооружения с учётом схемы взрывания скважинных зарядов / И.В. Машуков, В.П. Доманов, А.Г.Серг, Д.А. Егоров // Вестник научного центра по безопасности в угольной промышленности / ВостНИИ.- Кемерово.- 2013. - №1-2. - С. 16-21.

6. Машуков И.В., Обеспечение безопасности сейсмического воздействия массовых взрывов на здания и сооружения прилегающих территорий / Машуков И.В., Доманов В.П., Серг А.Г., Егоров Д.А. // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. научн. статей Сибирского гос. индустр. ун-та под общей ред. В.Н.Фрянова. – Новокузнецк, 2014, С. 104-109.

7. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. ГОСТ 25100-82.

8. Определение критических параметров колебаний охраняемых объектов при взрывном дроблении фундаментов и обрушении зданий при реконструкции. РТМ 36.22.91 / Сост. Л.М. Глозман, Н.А. Маковская, В.О. Изофов и др. — М.: Недра, 1982.

УДК 669.168

ПЕРЕРАБОТКА ЖЕЛЕЗНЫХ РУД И УГЛЕЙ КУЗБАССА

Ходосов И.Е., д.т.н. Нохрина О.И.
Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Приведены результаты исследования процессов получения металлизованных продуктов. Определены условия получения губчатого железа и металлических гранул с использованием в качестве сырья железной руды, угля и отходов углеобогащения.

Ключевые слова: железо прямого восстановления; металлизация, твердофазное восстановление оксидов, уголь.

Одно из основных направлений развития металлургических технологий – это получение материалов с высокими эксплуатационными свойствами: повышенная прочность, хладостойкость, коррозионная стойкость и пр. При производстве высококачественных сталей одной из проблем является высокая стоимость используемых шихтовых материалов при их низком качестве. Традиционно в металлошихте применяют металлический лом и чугун. Использование лома связанно с высокой ценой и нестабильным качеством, а именно высоким содержанием примесей цветных металлов, что в итоге снижает качество готовой продукции. Давно известно, что производство чугуна является материало- и энергозатратным процессом. При доменном производстве используют предварительно подготавливаемые железорудный агломерат и дефицитный кокс, что приводит к значительному удорожанию чугуна.

В настоящее время альтернативным сырьем для производства высококачественных сталей является, так называемое, первородное железо прямого восстановления, которое получают путем внедоменного передела железосодержащего сырья. Технологии производства металлизованных продуктов развиваются и совершенствуются с 60-х годов прошлого столетья, и к настоящему времени объем производства внедоменного железа достиг 76 млн. т в год. В России и в мире железо прямого восстановления в основном получают с использованием в качестве восстановителя конвертированного природного газа. Гранулированную железную руду подают в шахтную печь, где при температурах, не превышающих температур плавления материалов, происходит восстановление оксидов железа. Главные недостатки данных технологий – это высокий расход природного газа, сложный технологический процесс его конвертации и использование только богатых железных руд [1].

Увеличение объемов производства железа прямого восстановления возможно при замене природного газа углем. Существует множество технологических предложений производства металлизованных материалов с использованием угля [2]. Однако пока нет единого технологического решения, получившего широкое промышленное распространение. Главный недостаток использования твердых восстановителей при получении металлизованных материалов заключается в том, что продукты термического разложения угля ухудшают качество готового материала.

На кафедре металлургии черных металлов СибГИУ проводится работа по разработке научных основ энергоэффективной технологии получения высококачественных металлизованных материалов, пригодных для использования при выплавке сталей ответственного назначения. Одно из направлений исследований – изучение процессов твердофазного восстановления оксидов железных руд с использованием в качестве углеродистых восстановителей углей и отходов их обогащения [3].

При проведении исследований в качестве сырья использовали железную руду и железорудный концентрат. В качестве твердых углеродистых восстановителей применяли коксовый орешек, угли разных технологических марок (уголь длиннопламенный марки – Д; уголь бурый марки – Б2; уголь слабоспекающийся марки – СС) и отходы обогащения углей – «угольный КЕК», полученный в результате обогащения методом флотации углей марок – ГЖ и КС [4]. Составы материалов и технический анализ восстановителей приведены в табл. 1.

Исследования проводили с применением методов термодинамического моделирования и проведения активного эксперимента [5]. Полученные расчетным путем данные уточняли в ходе высокотемпературных экспериментов. Высокотемпературные эксперименты проводили с использованием печи сопротивления с графитовым нагревателем, трубчатой печи с молибденовым нагревателем и лабораторной дуговой сталеплавильной печи (ДСП). Из используемых материалов были изготовлены рудовосстановительные композиции различного состава, которые в дальнейшем подвергали грануляции, сушке и восстановительному обжигу. В ходе экспериментов изменяли температуру и время выдержки. Образующиеся газовые фазы отбирали и анализировали на хроматографе. Полученные металлизованные материалы анализировали с применением химических, рентгенографических и спектроскопических методов.

Изучены процессы твердофазного восстановления железа из оксидов железных руд при разных температурах восстановительного обжига 800, 900, 1000, 1100, 1200 ^{o}C с применением различных углеродистых восстановителей. В результате исследований была определена зависимость влияния физико-химических свойств углей и отходов их обогащения на процессы твердофазного восстановления железа из оксидов железных руд. Получены металлизированные продукты с губчатой структурой (рис. 1, а) с содержанием металлического железа до 83 %. Губчатое железо было использовано при выплавке стали в ДСП в количестве 30 – 50 % от количества шихтового материала. Состав полученной стали приведен в табл. 2.

Таблица 1

Составы материалов и технический анализ восстановителей

Фазовый состав исходной железной руды	
Много:	гематит (Fe_2O_3)
Присутствует:	магнетит ($FeO{\cdot}Fe_2O_3$), гетит (α–FeOOH), кварц (SiO_2), каолинит ($Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$)
Немного:	хлорит железа, полевой шпат

Химический состав железной руды, %							
$Fe_{общ.}$	SiO_2	Al_2O_3	P_2O_5	S	CaO	MgO	влага
52,3	14,24	2,51	0,072	0,42	0,94	0,76	5,78
Химический состав железорудного концентрата, %							
$Fe_{общ.}$	SiO_2	Al_2O_3	P_2O_5	S	CaO	MgO	влага
61,2	6,75	2,2	0,02	0,41	1,96	2,31	5,78

Восстановитель	Характеристика			
	Содержание [C] в рабочей массе,%	A^d (зола),%	V^{daf} (летучие),%	W^r (влага),%
Уголь - 2Б	49,1	7,83	46,76	35,3
Уголь - Д	55,6	5,64	43,53	15,4
Уголь - СС	70,02	6,4	34,3	6,7
Кек - ГЖ	35,6	21,7	38,8	41,2
Кек - КС	42,4	25,2	28,7	38,5
Кокс	84,56	9,41	1,83	3,1

Таблица 2

Результаты экспериментальных плавок

Количество материала		Содержание элементов в металле, %					Содержание элементов в шлаке, %					
		C	Si	Mn	P	S	Al_2O_3	MgO	C	CaO	SiO_2	MnO
лом		≤ 1,0	0,3	0,5	0,094	≤ 0,05	8,11	36,17	≤ 1,00	6,83	19,81	2,05
30,%	№1		0,34	0,4	0,024		8,12	36,05		6,80	19,20	2,15
	№2		0,32	0,4	0,025		8,10	36,20		6,75	19,92	2,07
	№3		0,36	0,36	0,026		12,00	29,40		1,88	45,72	2,77
50,%	№4		0,4	0,4	0,036		12,05	29,01		1,9	46,2	2,78
	№5		0,41	0,38	0,035		12,65	29,10		1,75	45,62	2,56
	№6		0,39	0,4	0,034							

По результатам исследований определены условия образования жидких фаз, что позволило получить продукт с содержанием металлического железа более 98 %. Полученный материал представлен металлическими гранулами (рис. 1, б).

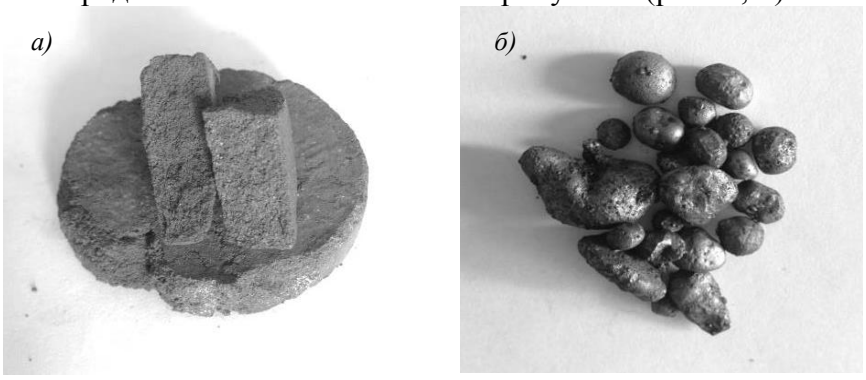


Рис. 1. Продукты металлизации: а – губчатый материал; б – металлические гранулы

При образовании капель металла происходит отделение шлаковой составляющей. Таким образом, экспериментально подтверждена возможность получения высококачественного металлургического сырья путем переработки железной руды и углей.

Полученные данные могут быть использованы при разработке современных технологий комплексной переработки природных ископаемых, а получаемые материалы – в качестве металлошихты при производстве металлургической продукции с высокими эксплуатационными свойствами. Применение отходов обогащения угля, бедных железных руд, низкие температуры процессов и энергоэффективность технологических решений в совокупности позволяют значительно снизить себестоимость продукта.

Список литературы

1. Юсфин Ю.С. Металлургия железа / Ю.С. Юсфин, Н.Ф. Пашков – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 464 с.

2. Люнген Х.Б. Современное состояние процессов прямого и жидкофазного восстановления железа / Х.Б. Люнген, К. Кноп, Р. Стеффен // Черные металлы. – 2007. - №2. - С. 13-25.

3. Ходосов И.Е. Получение чистого железа путем внедоменной пере-работки железных руд и углей Кузбасса / И.Е. Ходосов, О.И. Нохрина // Инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации»: мате-риалы Инновационного конвента. – Новокузнецк, 2014. – С. 378–380.

4. Мизин В.Г., Серов Г.В. Углеродистые восстановители для ферро-сплавов / В.Г. Мизин, Г.В. Серов.- М.: Металлургия, 1976 - 272 с

5. Альтернативные углеродосодержащие материалы в восстановительных процессах получения марганцевых, хромистых сплавов и металлизованного железа / И.Д. Рожихина, Ю.Е. Романенко, П.П. Лазаревский, И.Е. Ходосов // Сборник трудов XVIII Всероссийской научно-практической конференции «Металлургия: технологии, управление, инновации, качество» / под ред. Е.В. Протопопова. – Новокузнецк, 2014. – С. 128–134.

УДК 622:519.635.4

АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМА МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ К СИСТЕМЕ СИМВОЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ

к.т.н. Цветков А.Б., д.т.н. Павлова
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В публикации представлен подход к исследованию, посредством разработанных в системе символьной математики пакета программ и математической модели напряженного состояния углепородного геомассива с учетом внутреннего давления газа. Приведены результаты оценки чувствительности математической модели геомеханического состояния слоистого геомассива к давлению газа при отработке наклонного угольного пласта.

Ключевые слова: численное моделирование, математическая модель, алгоритм, давление газа, геомеханическое состояние.

Углепородный массив, включающий свиту пластов, как правило, содержит в природном состоянии газ, который под влиянием техногенных процессов мигрирует в горных породах по трещинам и порам, что приводит к перераспределению напряжений в геомассиве. В работах [1,2] приведена обобщенная математическая модель напряженно-деформированного состояния газоносного геомассива, исследование которой предусмат-

ривает проведение аналитических преобразований функциональных зависимостей. Для построения дискретной модели применялся метод конечных элементов. Следовательно, алгоритм численного метода должен предусматривать возможность работы с определяющими соотношениями математической модели в символьном виде, что обуславливает выбор системы символьной математики, которая позволяет проводить в процессе вычислений аналитические преобразования функциональных зависимостей. Но для ее применения к исследованию математических моделей, требующих задания функций в аналитической форме, необходимо адаптировать алгоритм метода конечных элементов к использованию команд символьной математики и на его основе разработать комплекс проблемно-ориентированных программ.

Традиционный алгоритм метода конечных элементов предполагает предварительное вычисление коэффициентов локальной матрицы жесткости по известными аналитическим зависимостям [3,4]. После формирования локальных матриц жесткости конечных элементов задача алгоритма состоит в том, чтобы ансамблировать коэффициенты локальных матриц жесткости в соответствии с глобальной нумерацией узлов в элементы глобальной матрицы.

В случае, когда вычислительный алгоритм предусматривает возможность задания функционала в виде аналитической функции, представляющей собой сумму по всем конечным элементам, систему можно сформировать в виде множества линейных уравнений в символьном виде, полученных минимизацией функционала. Это позволит автоматически строить дискретную модель при условии модификации математической модели.

Адаптация алгоритма метода конечных элементов заключается во включении в него команд аналитических преобразований ядра системы символьной математики, позволяющих при изменении математической модели, автоматически модифицировать функциональные зависимости.

На основе адаптированного алгоритма метода конечных элементов в системе символьной математики разработан комплекс проблемно-ориентированных программ [5].

Далее представлены фрагменты кода разработанной программы, отражающие особенности адаптации алгоритма к системе символьной математики - Mathematica.

Совместно с исходными данными о физико-механических свойствах пород задается в аналитической форме функция газа gas[x_,y_]=f(x,y), где зависимость f(x,y) определяет распределение давления газа внутри расчетной области. Фрагмент кода программы для аналитического вычисления частных производных от функции давления газа, приведен на рис. 1.

```
gasx[x_, y_] = D[gas[x, y], x];
gasy[x_, y_] = D[gas[x, y], y];
```

Рис. 1. Фрагмент кода аналитического вычисления частных производных от функции давления газа

Фрагмент кода, приведенный на рис. 2, предназначен для аналитического определения в процессе вычислений частных производных от функций форм. Частные производные от функций формы представлены в символьном виде, как функции от координат x и y.

```
psx[x_, y_, i_, j_, 1] = D[ps[x, y, i, j, 1], x];
psx[x_, y_, i_, j_, 2] = D[ps[x, y, i, j, 2], x];
psx[x_, y_, i_, j_, 3] = D[ps[x, y, i, j, 3], x];
psx[x_, y_, i_, j_, 4] = D[ps[x, y, i, j, 4], x];
psy[x_, y_, i_, j_, 1] = D[ps[x, y, i, j, 1], y];
psy[x_, y_, i_, j_, 2] = D[ps[x, y, i, j, 2], y];
psy[x_, y_, i_, j_, 3] = D[ps[x, y, i, j, 3], y];
psy[x_, y_, i_, j_, 4] = D[ps[x, y, i, j, 4], y];
```

Рис. 2. Фрагмент кода частных производных от функций формы

Для интегрирования функций формы и произведений их частных производных, можно использовать встроенные в систему символьной математики команды численного интегрирования. Так как зависимости для функций формы и их частных производных получены в символьном виде, то соответствующие интегралы можно вычислить аналитически, устранив погрешность, связанную с численным интегрированием. Эта возможность использована в разработанном комплексе программ. С целью вычисления интегралов в аналитическом виде использованы команды системы символьной математики, представленные на рис. 3.

```
Table[int[i, j, r] = ∫_ox[1,j]^ox[i+1,j] ∫_yya[x,i,j]^yyb[x,i,j] ps[x, y, i, j, r] dy dx, {r, 1, 4}];

Table[intxx[i, j, r, s] = ∫_ox[1,j]^ox[i+1,j] ∫_yya[x,i,j]^yyb[x,i,j] psx[x, y, i, j, r] *
      psx[x, y, i, j, s] dy dx, {r, 1, 4}, {s, 1, 4}];

Table[intyy[i, j, r, s] = ∫_ox[1,j]^ox[i+1,j] ∫_yya[x,i,j]^yyb[x,i,j] psy[x, y, i, j, r] *
      psy[x, y, i, j, s] dy dx, {r, 1, 4}, {s, 1, 4}];

Table[intxy[i, j, r, s] = ∫_ox[1,j]^ox[i+1,j] ∫_yya[x,i,j]^yyb[x,i,j] psx[x, y, i, j, r] *
      psy[x, y, i, j, s] dy dx, {r, 1, 4}, {s, 1, 4}];
```

Рис. 3. Фрагмент кода аналитического вычисления интегралов

Вычисления выполняются в аналитической форме, поэтому система линейных алгебраических уравнений формируется в виде объединения двух множеств. Первое множество уравнений составляется для внутренних узлов сетки конечно-элементной модели посредством дифференцирования по узловым перемещениям. Второе множество уравнений формируется для узлов, принадлежащих границе области на основе заданных граничных условий.

Полученная система уравнений решается средствами системы символьной математики. В результате решения системы вычисляются величины узловых перемещений. По найденным узловым перемещениям определяются величины деформаций и напряжений.

На следующем примере, с помощью разработанного комплекса проблемно-ориентированных программ, приведено решение задачи оценки чувствительности математической модели напряженно-деформированного состояния слоистого геомассива к давлению газа при отработке наклонного угольного пласта.

При наклонном залегании свиты угольных пластов гравитационные силы приводят к наклону вектора вертикальных смещений в сторону падения пластов. Одновременно происходит проскальзывание слоев по контактам при разных деформационных характеристиках пород соседних слоев. Вследствие разной величины гравитационных сил на левой и правой границах расчетной модели, вероятно возникновение асимметричного, относительно вертикальной оси, распределения параметров напряженно-деформированного состояния, что подтверждается результатами шахтных измерений и физического моделирования. Поэтому необходимо оценить чувствительность математической модели напряженно-деформированного состояния слоистого геомассива к особенностям распределения напряжений при отработке наклонного угольного пласта в гравитационном поле, осложненном неравномерным коэффициентом бокового давления при разных глубинах залегания пласта на левой и правой границах модели.

Для исследования геомеханического состояния участка геомассива в зоне влияния наклонной очистной выработки учитывалось совместное воздействие собственного веса пород и давления газа.

Расчетная область исследуемого участка геомассива Ω (рис. 4) представлена алевролитами (Ω_1), аргиллитами (Ω_3, Ω_5), наклонным отрабатываемым пластом угля (Ω_4) и пластом-спутником (Ω_2). Границы наклонной очистной выработки в угольном пласте обозначены точками B_1 и B_2.

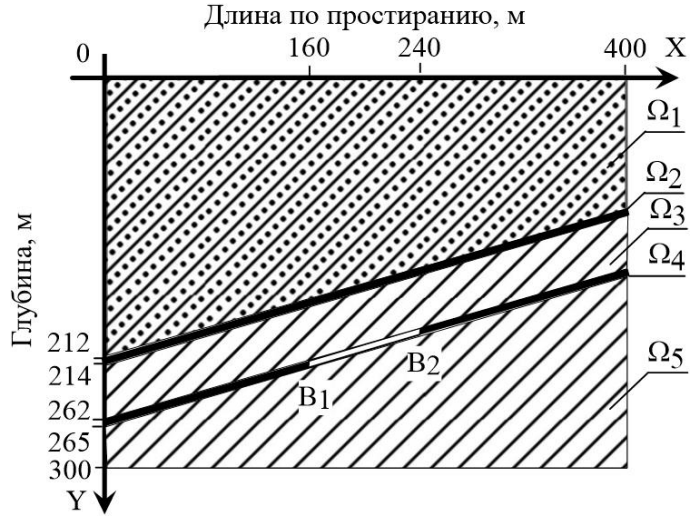


Рис. 4. Расчетная область, включающая наклонные газоносные угольные пласты и очистную выработку

Распределение внутреннего давления газа, принятое при проведении вычислительного эксперимента, приведено на рис. 5. В пласте-спутнике давление газа составляло p_1=0,5МПа, в отрабатываемом угольном пласте p_2= 0,7МПа. Давление газа в очистной выработке задано равным нулю. Угол падения угольных пластов принят 16°.

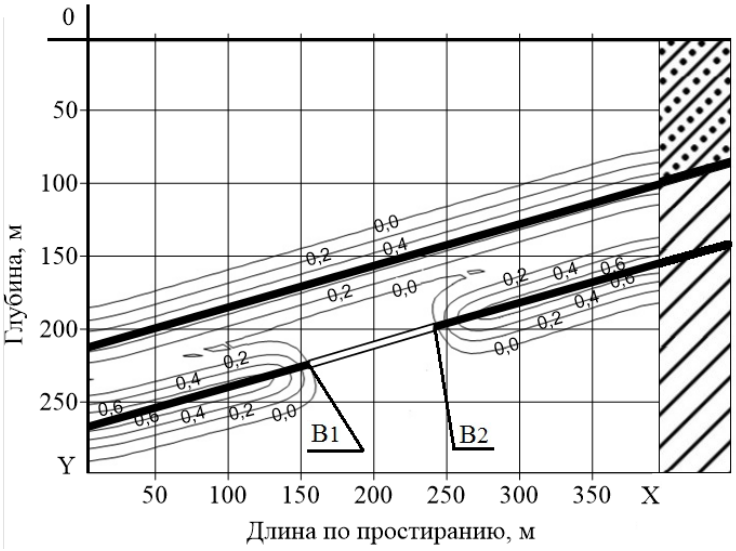


Рис. 5. Изолинии распределения давления газа, МПа

На рис. 6 приведены результаты численного моделирования в виде совмещенных изолиний распределения вертикальных напряжений, возникающих под воздействием сил гравитации, и с учетом давления газа (знак минус соответствует сжимающим напряжениям).

Анализ полученных результатов позволяет установить следующие закономерности.

Наклонное залегание пластов приводит к ассиметричному характеру распределения вертикальных напряжений в окрестности отрабатываемого пласта. Ось симметрии вертикальных растягивающих напряжений наклонена к границе B_2. В почве очистной выработки, наоборот, разгрузка пород больше в окрестности границы B_1 по сравнению с B_2.

Вне зоны влияния очистной выработки воздействие давления газа усиливается и приводит к возрастанию сжимающих напряжений в породах кровли и почвы наклонного пласта.

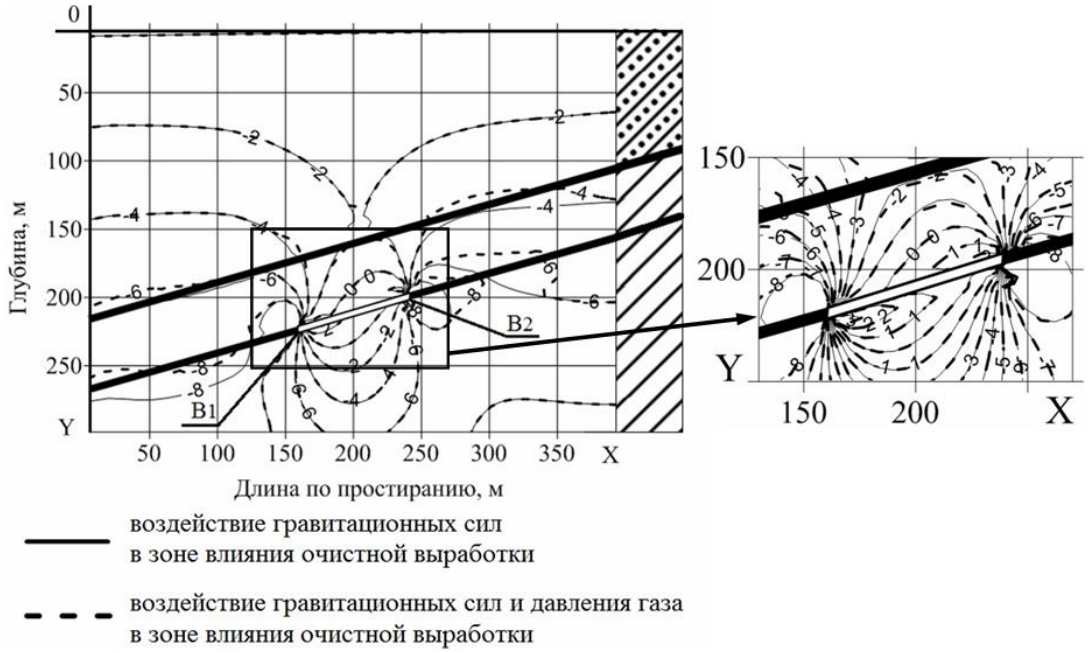


Рис. 6. Изолинии распределения вертикальных напряжений, вызванные совместным воздействием сил гравитации и давления газа, в зоне влияния очистной выработки, МПа

В условиях наклонного залегания угольного пласта, характер распределения вертикальных напряжений в окрестности очистной выработки определяется гравитационным полем, что подтверждается совпадением изолиний распределения техногенных вертикальных напряжений, возникающих при совместном влиянии давления газа и сил гравитации. Ослабление воздействия давления газа в зоне влияния очистной выработки объясняется дегазацией угольного пласта и пород из-за миграции метана в очистное выработанное пространство.

Вывод. По результатам расчета установлено, что при отработке наклонного газоносного пласта характер распределения вертикальных напряжений в окрестности очистной выработки, определяется гравитационным полем, то есть не зависит от давления газа вследствие дегазации геомассива в зоне разгрузки. По мере удаления от очистной выработки воздействие внутреннего давления газа в пластах приводит к увеличению вертикальных сжимающих напряжений в их окрестности.

Список литературы

1. Цветков А.Б. Численное моделирование поля техногенных напряжений с учетом давления газа в углепородном геомассиве / А.Б. Цветков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 12. . – С. 265–269.

2. Цветков А.Б. Численное моделирование распределения метана при отработке свиты угольных пластов / А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова // В мире научных открытий. – 2014. – № 2.1 (50). . – С. 815–827.

3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.

4. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987. - 221 с.

5. Цветков А.Б. Пакет программ NDSolver V1.0 для математического моделирования напряженно-деформированного состояния газоносного геомассива. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 19867 от 10.01.2014 – Объединенный фонд электронных ресурсов «Наука и образование».

УДК 004.4:622.831

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТРЁХМЕРНЫХ ЗАДАЧ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

к.т.н. Корнев Е.С., д.т.н. Павлова Л.Д.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В настоящей статье представлен обзор современных комплексов программ, основанных на использовании метода конечных элементов. Проведен анализ их применения в области горного дела. Представлена характеристика и основные возможности программного комплекса, разработанного авторами для трехмерного моделирования процессов изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

Ключевые слова: комплекс программ, метод конечных элементов, трёхмерное моделирование, массив горных пород, угольный пласт, смещения, деформации, напряжения.

Широкое распространение современной высокопроизводительной вычислительной техники существенно изменило процесс инженерной деятельности. Появление на рынке программного обеспечения систем автоматизированного двумерного и трехмерного геометрического проектирования (CAD) и систем автоматизации инженерных расчётов, анализа и моделирования физических процессов (CAE) позволяет ускорять процессы проектирования и исследования различных конструкций и сооружений, имеющих сложную структуру. Использование методов вычислений, реализованных в комплексах CAD, дает возможность проводить исследования различных характеристик проектируемых объектов, что позволяет изменять их конструкцию без создания экспериментальных образцов и не прибегать к длительной и дорогостоящей процедуре натурных исследований [2].

Среди средств обеспечения исследований важное место занимают программные комплексы, основанные на использовании метода конечных элементов (МКЭ), которые позволяют проводить имитационное моделирование работы конструкции на основе описания ее геометрии, физики моделируемых процессов, свойств применяемых материалов, эксплуатационных характеристик и иных указываемых пользователем исходных данных. Среди комплексов программ конечно-элементного анализа можно указать такие продукты, как ANSYS, MSC/NASTRAN, COSMOSWorks, SAMCEF, ABAQUS, FEMAP и другие (табл. 1).

Программные комплексы, основанные на использовании метода конечных элементов, подразделяются на две основные группы:

1. Программы конечно-элементного анализа (COSMOSWorks, DesignSpace, MSC/InCheck и другие), встраиваемые на уровне меню в известные пакеты CAD и располагающие необходимым инструментарием для быстрого расчета элементов или сборочных единиц непосредственно в среде их разработки [10].

2. Программы, ориентированные на подготовку полноценной конечно-элементной модели исследуемого объекта или процессов с максимальными возможностями моделирования, учета особенностей геометрического, силового характера и выполнения различных видов расчетов.

Универсальные конечно-элементные программные комплексы широко применяются в смежных областях науки и техники. Однако механическое использование этих комплексов для определения объемного напряженно-деформированного состояния углепородного массива при подземной разработке пластов не обеспечивает потребности горной практики, так как решение, как правило, выполняется для однородного изотропного материала, без учёта структуры горного массива, механических свойств породных слоев, наличия сложных горнотехнических объектов.

Таблица 1

Программные комплексы, основанные на использовании метода конечных элементов [1-3, 6, 7, 10]

Программный комплекс	ANSYS	MSC/NASTRAN	COSMOSWorks	SAMCEF	ABAQUS	FEMAP
Производитель	ANSYS Inc	MSC	SolidWorks Corporation	SAMTECH	ABAQUS Inc	Siemens PLM Software
Область применения:						
авиация и космос	+	+	+	+	+	–
горное дело	+	–	–	–	–	–
машиностроение	+	+	–	+	–	+
нефтехимическая и газовая отрасль	+	–	–	–	+	–
строительство	+	+	–	–	–	+
судостроение	+	–	–	+	–	–
транспорт	+	–	–	+	+	–
электроника	–	+	–	+	+	–
энергетика	+	–	–	+	+	–
Модульная структура	+	+	–	+	+	+
Удобный интерфейс	+	–	–	–	+	+
Набор конечных элементов различных типов	+	+	+	+	+	+
Набор моделей различных материалов	+	+	–	–	+	–
Невысокие требования к аппаратному обеспечению	–	+	+	–	+	+

Общим недостатком комплексов программ конечно-элементного анализа является ограниченный набор возможностей для создания и расчета моделей с усложненными свойствами по функциональным схемам, граничным условиям, нагрузкам, геометрическим особенностям и т.д. Поэтому построенные с помощью этих комплексов расчетные модели исследуемого объекта не всегда решают поставленные задачи.

Таким образом, несмотря на многообразие программных комплексов, основанных на использовании МКЭ, актуальной является разработка алгоритма и специализированного комплекса программ, адаптированного для решения трехмерных задач горной геомеханики МКЭ в упругой и нелинейной постановке с учетом структуры массива горных пород, механических свойств породных слоев и наличия горнотехнических объектов, положение которых изменяется во времени и пространстве [6, 7].

Разработанный авторами комплекс проблемно-ориентированных программ «MGP program complex» предназначен для численного моделирования геомеханических процессов в горном массиве с учетом перехода пород из упругого в нелинейное напряженно-деформированное состояние при подземной разработке угольных пластов [4, 5, 9].

Комплекс состоит из четырёх программ, которые созданы с использованием различных сред разработки. Интерфейсную часть комплекса образуют программы Create и Visual, которые разработаны в виде исполняемых приложений в среде Delphi. Расчетную часть комплекса образуют программы Tetrar и System, реализующие метод конечных элементов. Программы написаны на языке Fortran PowerStation, разработаны в виде консольных приложений.

Организация работы программ, созданных в разных средах, и их взаимодействие реализуется в среде Microsoft Developer Studio, в которой программы представлены как проекты верхнего уровня, выполняющиеся последовательно друг за другом:

Create – формирует файл исходных данных путем записи в файл значений величин, введенных в форму;

Tetrar – осуществляет трехмерную дискретизацию геомеханической модели массива горных пород на конечные элементы;

System – реализует необходимые вычисления с использованием стандартных процедур метода конечных элементов;

Visual – строит графики вертикальных смещений, деформаций и напряжений в угольном пласте, породах кровли и почвы, а так же остаточной прочности горных пород для упругого и упруго-пластического решения по любому из слоев углепородной толщи.

Разработанный комплекс проблемно-ориентированных программ «MGP program complex» позволяет:

– моделировать процессы формирования напряжений и деформаций в массиве горных пород при воздействии системы взаимовлияющих подземных выработок с учетом формы и размеров объектов систем разработки угольных пластов;

– моделировать процессы изменения во времени и пространстве прочностных и деформационных свойств пород в зоне влияния очистных и подготовительных выработок при подземной разработке угольных пластов;

– прогнозировать предельные размеры устойчивых целиков различного назначения при подземной разработке угольных пластов;

– прогнозировать устойчивые обнажения пород кровли и почвы подготовительных и очистных выработок угольных шахт;

– устанавливать зависимости параметров объемного напряжённо-деформированного состояния углепородного массива при подземной разработке угольных пластов в широком диапазоне основных горно-геологических факторов.

Примеры работы комплекса программ приведены на (рис. 1, 2).

а) изотропная модель б) ортотропная модель

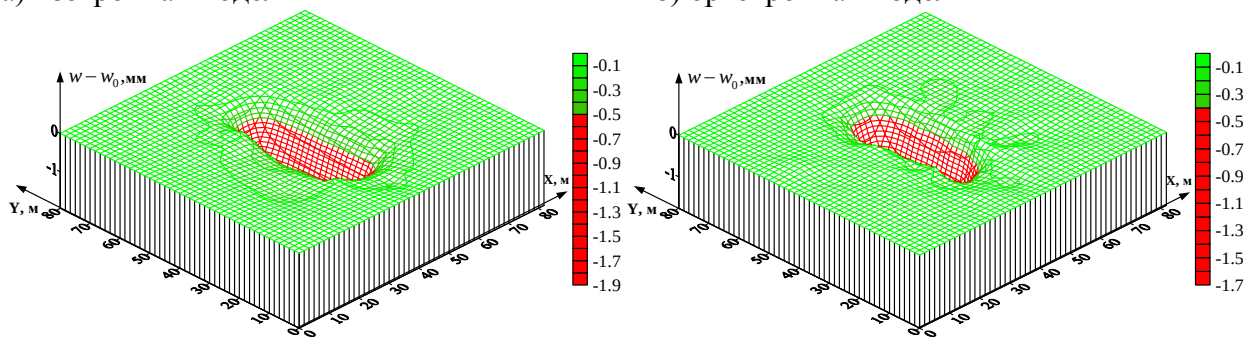


Рис. 1. Пространственное распределение изолиний вертикальных смещений в кровле пласта

а) изотропная модель б) ортотропная модель

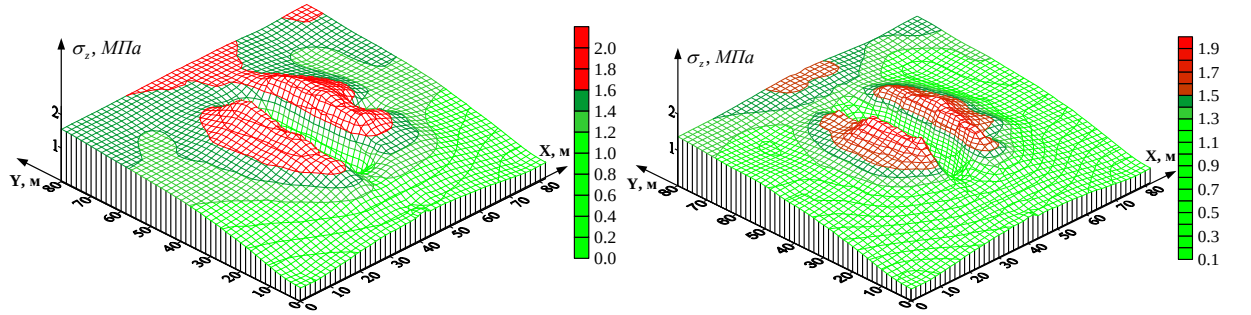


Рис. 2. Пространственное распределение изолиний вертикальных напряжений в кровле пласта

Использование комплекса проблемно-ориентированных программ «MGP program complex» на действующих угледобывающих предприятиях позволит прогнозировать предаварийные ситуации и обеспечивать профилактику опасных явлений при подземной разработке угольных пластов.

Список литературы

1. Алямовский А.А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов / А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.

2. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя / К.А. Басов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

3. Каплун А.Б. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

4. Корнев Е.С. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов в горном массиве при подземной разработке угольных пластов [Электронный ресурс]: информационный образовательный ресурс / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов ; Сиб. гос. индустр. ун-т // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование». – 2012. – № 3. – Режим доступа: http://ofernio.ru/portal/newspaper/ofernio/2012/3.doc (дата обращения: 26.06.2012).

5. Корнев Е.С. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов методом конечных элементов / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 65–69.

6. Корнев Е.С. Разработка комплекса программ и численное моделирование геомеханических процессов в углепородном массиве: дис. канд. тех. наук. – Новокузнецк, 2013. – 166 с.

7. Корнев Е.С. Численное моделирование геомеханических процессов при короткозабойной отработке угольных пластов: монография / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов. – Прага: Vědecko vydavatelské centrum «Sociosféra-CZ», 2014. – 206 с.

8. Павлова Л. Д. Моделирование геомеханических процессов в разрушаемом углепородном массиве: монография. – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – 239 с.

9. Свидетельство о регистрации электронного ресурса. «Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов в горном массиве при подземной разработке угольных пластов» / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – 2012. – № 17997 ; дата регистрации 01.03.12.

10. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows / Д.Г. Шимкович. – М.: ДМК Пресс, 2003. – 448 с.

УДК 622.278

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПУЧЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ОКРЕСТНОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ОТРАБОТКЕ ВЕСЬМА СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

[1]к.т.н. Волошин В.А., [1]Риб С.В., [2]Исаченко А.А.
1 - Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
2 - Шахта «Ерунаковская - VIII», г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В работе приведены результаты шахтных наблюдений и численного моделирования геомеханических процессов в углепородном массиве в окрестности подготовительных выработок при разной мощности междупластья весьма сближенных пластов 45 и 48 в условиях шахты «Ерунаковская VIII» в Кузбассе. Установлено, что при подготовке и отработке нижележащих выемочных участков с увеличением глубины разработки и уменьшением мощности пород между сближенными пластами пучение увеличивается.

Ключевые слова: пучение, горная выработка, устойчивость, численное моделирование, метод конечных элементов, горная порода, угольный пласт

От устойчивости подготовительных горных выработок при подземной разработке угольных пластов зависит безопасность и эффективность работы угольных шахт. На состояние горных выработок, охраняемых угольными целиками, оказывают влияние горно-геологические (природные) и горнотехнические (техногенные) факторы. Одним из негативных явлений, ухудшающих эксплуатационное состояние горных выработок, является пучение пород почвы.

В этой связи, выявление закономерностей пучения пород почвы в горных выработках для обоснования параметров подготовки и отработки выемочных участков по современной многоштрековой схеме представляет важную научно-практическую задачу.

Изучение влияния взаимодействующих техногенных и природных факторов в окрестности подготовительных выработок осуществлялось на весьма сближенных угольных пластах 45 и 48 шахты «Ерунаковская VIII» посредством выполнения следующих работ:

- инструментально-визуального обследования состояния выемочных выработок на пласте 48 с выявлением формы и объёма разрушенных пород в почве и боках штреков;
- адаптации разработанного комплекса компьютерных программ CoalPillar к горно-геологическим и горнотехническим условиям сближенных пластов 45 и 48 шахты «Ерунаковская VIII»;
- численного моделирования геомеханических процессов в углепородном массиве в окрестности подготовительных выработок при разной мощности междупластья весьма сближенных пластов 45 и 48, в том числе с учётом формы и размеров очистного выработанного пространства и количества штреков в выемочном участке;
- обоснования рекомендаций по снижению интенсивности пучения пород почвы и повышению устойчивости выработок при подготовке и отработке на нижних горизонтах выемочных участков в условиях шахты «Ерунаковская VIII».

Горно-геологические и горнотехнические условия отработки весьма сближенных пластов 45 и 48 следующие. Ниже отрабатываемого пласта 48 расположен пласт 45. Мощность пород междупластья, представленная переслаиванием аргиллитов и алевролитов, изменяется от 0,5 до 11 м. Породы кровли пласта 48 представлены алевролитом мелкозернистым сухим без расслоения, а породы почвы пласта 45 – алевролитом мелкозернистым. По результатам анализа пространственно-временного расположения подготовительных выработок при трехштрековых схемах подготовки и отработки выемочных участков в условиях шахты «Ерунаковская VIII» следует ожидать интенсивное пучение пород почвы выработок по пласту 48, что подтверждается шахтными наблюдениями и инструментальными замерами (рис. 1).

Для выявления закономерностей деформирования пород в окрестности подготовительных выработок применяется метод конечных элементов [1,2] с использованием авторского комплекса компьютерных программ, разработанного на кафедре геотехнологии СибГИУ [3-6].

Комплекс проблемно-ориентированных программ CoalPillar, в основе которого заложен метод конечных элементов, предназначен для численного моделирования геомеханических процессов в углепородном массиве с учётом влияния его слоистости и неоднородного строения в виде породных прослойков, твёрдых включений, плывунов, дизъюнктивных геологических нарушений и системы взаимовлияющих очистных и подготовительных выработок.

В расчетной модели приняты следующие параметры:

длина по простиранию - 1400 м;

средняя глубина залегания пласта 48 - 411 м;

мощность пласта 45 - 1,60 м,

мощность пласта 48 - 2,6 м;

коэффициент крепости угля по шкале проф. Протодъяконова - 1,0;

мощность пород между пластами 45 и 48 – от 0,5 до 11 м;

коэффициент крепости пород по шкале проф. Протодьяконова – от 2,3 до 5,2.

Начало координат условной системы расположено на пересечении кровли пласта 48 и левого бока выработки (вентиляционного штрека 48-4).

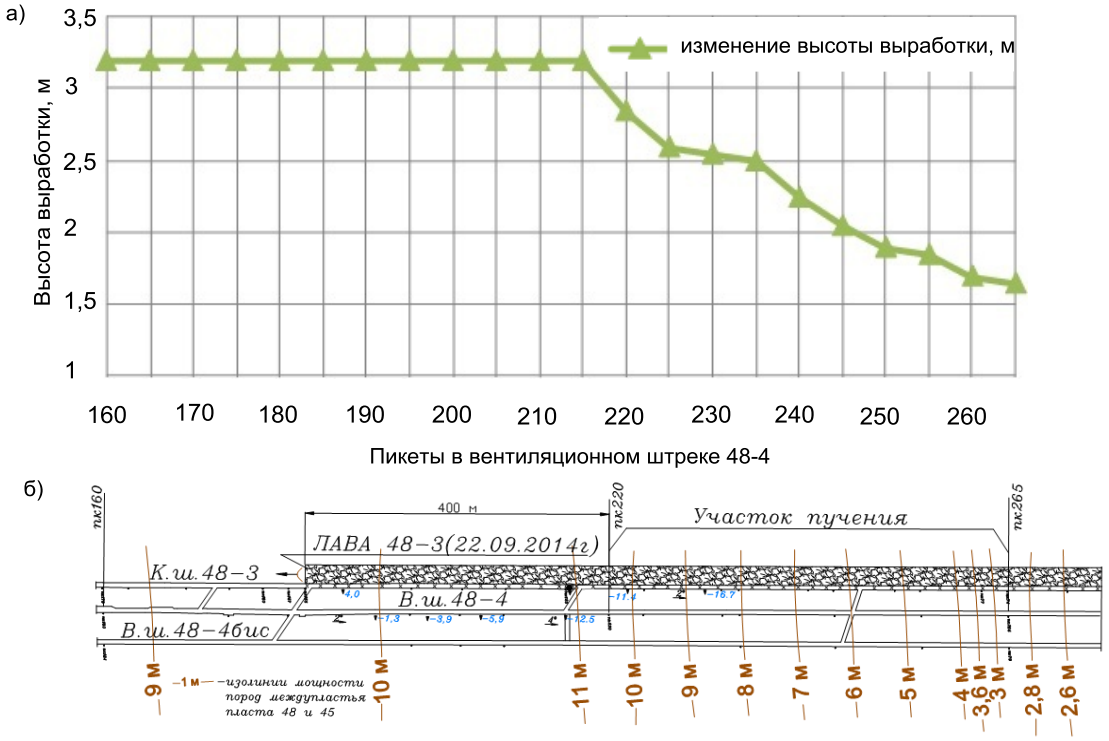


Рис.1. Результаты инструментально-визуального обследования: а - график деформирования выработки; б – изменение мощности пород между пластами 45 и 48

Прогноз процессов пучения пород почвы выполнен на основе оценки соответствия результатов численного моделирования фактическому состоянию выработок вне и в зоне влияния очистных работ в условиях отработки выемочного участка 48-3 шахты «Ерунаковская-VIII».

Для исследования влияния напряжённо-деформированного состояния (НДС) углепородного массива на площадь поперечного сечения конвейерного штрека 48-3, вентиляционного штрека 48-4 (рис. 2) и вентиляционного штрека 48-4 бис были проведены вычислительные эксперименты при изменении мощности пород междупластья: 0,5; 0,6; 1,0; 1,4; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0;4,0 и 5,0 м.

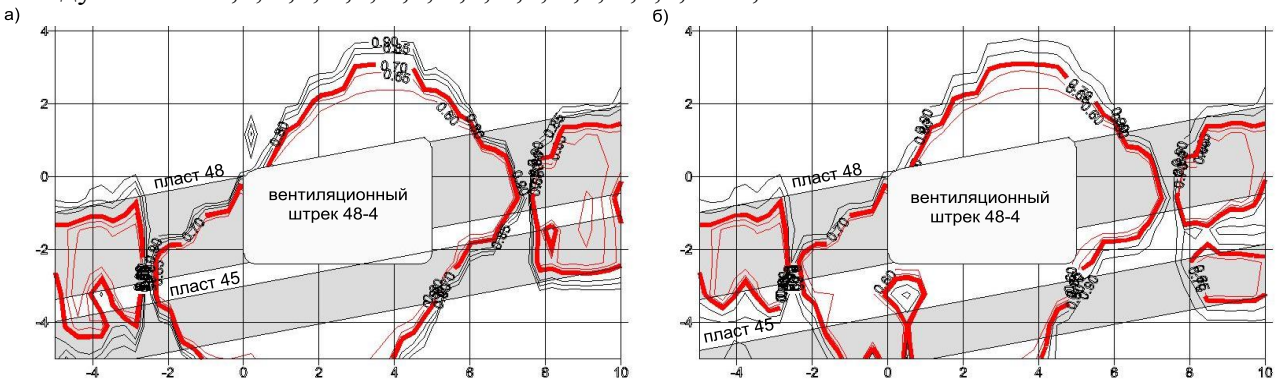


Рис.2. Изменение остаточной прочности вмещающих пород вокруг вентиляционного штрека 48-4 при отработке выемочного столба 48-3 при: а - мощности пород междупластья 0,6 м; б - мощности пород междупластья - 1,4 м

По результатам численного моделирования установлено, что пучение пород почвы наблюдается вне зоны влияния очистных работ при мощности междупластья не

более 1,0 м (расчетная глубина ведения работ 400 м). Прогнозируемое пучение носит локальный характер и изменение первоначальной высоты выработки составит до 15%, что не влияет существенно на работу очистного забоя 48-3. При переходе на двухштрековую подготовку выемочного участка спаренными забоями интенсивность пучения пород почвы увеличится в 1,7 – 2,1 раза.

Ниже выемочного участка 48-3 по падению пласта расположены участки 48-4 и 48-5. Прогнозируется увеличение глубины ведения горных работ до 500 м (выемочный участок 48-4) и до 600 м (выемочный участок 48-5). При возрастании глубины работ интенсивность пучения увеличивается.

В результате проведённых исследований обоснованы следующие выводы.

1. Установлено, что расчётные параметры НДС углепородного массива соответствуют фактическим значениям пучения пород почвы, измеренным в ходе инструментального контроля состояния пород кровли и почвы в горных выработках выемочного участка 48-3 вне и в зоне влияния очистных работ.

2. При изменении мощности междупластья пластов 45 и 48 выявлены следующие зоны интенсивности пучения пород почвы:

- сильного пучения при мощности пород междупластья до 0,6 м;
- интенсивного пучения в зоне влияния очистных работ при мощности пород междупластья 0,8–1,8м;
- среднеинтенсивного пучения в зоне влияния очистных работ при мощности пород междупластья 2,0–2,8м;
- вероятного пучения в зоне влияния очистных работ при мощности пород междупластья 3,0–3,5м.

3. Интенсивность пучения пород почвы растёт при увеличении глубины ведения горных работ.

4. При подготовке и отработке нижележащих по падению пласта выемочных участков 48-4 и 48-5 возможно увеличение пучения пород почвы на 40 – 70% по сравнению с пучением пород при отработке вышележащего выемочного участка 48-3.

Список литературы

1. Бате Н. Численные методы анализа и численный метод конечных элементов [Текст] / Н.Бате, Е.Вилсон. – М.: Стройиздат, 1982. – 448с.

2. Курленя М.В. Техногенные геомеханические поля напряжений [Текст]/ М.В. Курленя, В.М. Серяков, А.А. Ерёменко. – Новосибирск: Наука, 2005. – 264 с.

3. Волошин В.А. Геомеханический прогноз устойчивости подготовительных выработок в зонах геологических нарушений и повышенного горного давления [Текст]: автореф. дис. на соиск. учён.степ. канд. техн. наук/ А.В. Волошин; СибГИУ. Новокузнецк: 2002. -24 с.

4. Риб С.В.Численное моделирование геомеханического состояния неоднородных угольных целиков методом конечных элементов / Риб С.В., Басов В.В., Никитина А.М., Борзых Д.М. // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. ст. – Новокузнецк, 2014. – С. 123–128.

5. Методика подготовки исходных данных для решения двумерных задач численного моделирования неоднородных угольных целиков/ С.В. Риб, В.В. Басов // Вестник СибГИУ. – Новокузнецк, 2014. № 4. С. 11-13.

6. Риб С.В. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для численного моделирования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков / С.В. Риб, В.Н. Фрянов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2014. – №3. - С. 367–372.

УДК 622.281.424

НЕСТАНДАРТНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ МАЛОБЮДЖЕТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАБРЫЗГБЕТОНИРОВАНИЯ ПРИ КРЕПЛЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

[1]к.т.н. Волченко Г.Н., [2]д.т.н. Фрянов В.Н., [3]к.т.н. Приб В.В., [2]к.т.н. Волченко Н.Г.
1 - Сибирская инжиниринговая компания ООО «СИБКОМ», г. Новокузнецк, Россия
2 - Сибирский государственный индустриальный университет г. Новокузнецк, Россия
3 - Горно-Шорский филиал ОАО «Евразруда» п. Шерегеш, Россия

Аннотация. Разработка инновационного продукта «Termiton X4» не традиционная и направлена на совершенствование и замену ствола (торкрет-сопла), комплектующего серийно выпускаемые торкрет-установки для сухого набрызга бетона. Ресурсосбережение усовершенствованного ствола «Termiton X4» достигается при малобюджетном сухом набрызгбетонировании и обеспечивает экономический результат за счет импортозамещения дорогостоящих зарубежных технологий, оборудования и материалов

Ключевые слова: Крепление горных выработок, сухое набрызгбетонирование, торкрет-сопло, объемное затворение потока сыпучих компонентов, шахтная атмосфера.

В мировой практике борьба с потерями сухих смесей и пылью при набрызгбетонировании ведется по трем основным направлениям: создание рациональной технологии ведения набрызгбетонных работ, обеспечивающей максимальное сокращение потерь материалов; разработка и применение средств, повышающих степень смачивания сухой смеси; применение средств подавления пыли, образовавшейся при набрызге бетона.

В данной работе решается задача, направленная на совершенствование установок для набрызгбетонирования посредством создания торкрет-сопел (стволов), обеспечивающих минимальный отскок смесей, пылеобразование и высокую адгезию наносимых вяжущих веществ на покрываемую поверхность, или конструкцию.

Мировая тенденция решения проблемы высокого процента отскока, запыленности шахтной атмосферы и больших потерь сухих смесей при применении высоко мобильной технологии сухого набрызгбетонирования заключается, в основном, в переходе на громоздкий метод мокрого набрызгбетонирования, разработке дорогостоящих сухих смесей с высокой адгезией, малым временем схватывания бетона и т.д. в том числе и при реализации всемирно признанной технологии ново австрийского туннельного метода (NATM). В России эти разработки представлены брендами компаний MEYNADIER MASCHINEN, PUTZMEISTER, SIKA, SPERNO MASCHINENBAU, MEYCO, ORICA, BASF и др. Самое современное торкрет-сопло с фронтальным подводом затворяющей воды из 4-8 отверстий диаметром 1,0-2,0 мм и затворяемой камеры смешивания в виде цилиндрического патрубка из полиуретана [1-3] без существенных изменений используется при комплектации торкрет-установок aliva-237, aliva-257, MPCS 4, SPG-6, СБ 67 Б, АС-2 и др.

Сибирская инжиниринговая компания СИБКОМ (www.sibcom-eng.ru), при содействии института Горного дела и геосистем СибГИУ, разработала инновационный продукт – ствол обеспыливающего набрызгбетонирования четвертой модификации СНБ–4, под торговой маркой *Termiton™ X4 TERMITON X4* (рис. 1). Разработка инновационного продукта *Termiton™ X4* не традиционная, и направлена на совершенствование и замену ствола, комплектующего любые серийно выпускаемые торкрет-установки для сухого набрызга бетона [2, 3]. Ресурсосбережение применения усовершенствованного ствола *Termiton™ X4* позволяет при малобюджетном сухом набрызгбетонировании и обеспечивает экономический результат за счет импортозамещения дорогостоящих зарубежных технологий, оборудования и материалов

Рис. 1. Общий вид и дизайн торговой марки ствола обеспыливающего набрызгбетонирования *Termiton™ X4*

Проведенные ранее комплексные исследования [2, 3] в данном направлении позволяют обоснованно утверждать, что ствол *Termiton™ X4* при работе с установкой aliva – 237 позволяет достичь существенных экономических, экологических и социальных эффектов.

В технической характеристике установки aliva – 237 совместного производства мировых брендов Sika (Великобритания) и Putzmeister (ФРГ) указывается средний показатель отскока (потерь) – 25% [1] (рис. 2), т.е. при набрызгбетонировании 1т сухой смеси, потери составляют 250 кг.

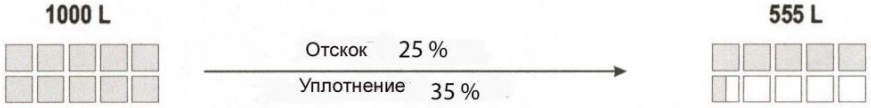


Рис. 2 . Схема изменения объема и физико-механических свойств сухих смесей на поверхности набрызгбетонирования при работе установками aliva [1]

Данные параметры были подтверждены в декабре 2014 г. при выполнении комплексных исследований работы ствола *Termiton™ X4* с установкой aliva – 237 (рис. 3а) и использованием фасованной в бумажную тару по 25 кг сухой смеси с ускоряющими схватывание бетона добавками от BASF. Данные исследования позволяют сделать вывод, что ствол *Termiton™ X4* при работе с установкой aliva – 237 позволяет достичь существенных экономических, экологических и социальных эффектов (табл. 1) [2].

Таблица 1

Показатели замеров отскочившего материала от контура выработки при использовании различных стволов при набрызге бетона

Изделие	Масса, кг	Сухая масса нетто, кг	% отскока	Средний % отскока
TERMITON X4	35	30	6,0	6,0
	36	31	6,2	
	34	29	5,8	
aliva – 237	155	131	26,2	26,2
	154	130	26,0	
	156	132	26,4	
aliva – 237(проект)				25

Полученные данные по кардинальному снижению отскока и пылеобразования при использовании *Termiton™ X4* подтверждаются ООО «Строительно-монтажный поезд №778» г. Новосибирск при выполнении подрядных работ по ремонту Ингольского тоннеля (Красноярская ж.д.) с использованием технологии гидродемонтажа и сухого торкретирования.

Ведутся испытания изделия *Termiton™ X4* на подземных предприятиях АК «АЛРОСА» Мирнинским специализированным шахтостроительным трестом г. Мирный.

Согласно распоряжения главного инженера ОАО «Евразруда» в феврале 2015г. были проведены промышленные испытание изделия *Termiton™ X4* на шахте Горно-Шорского филиала ОАО «Евразруда». Промышленные испытания проводились в соответсвии с «Положением о порядке проведения промышленных испытаний горного оборудования, инструментов и материалов на филиалах ОАО «Евразруда», и разработанной ООО «СИБКОМ» «Программой и методикой промышленных испытаний ствола обеспыливающего набрызгбетонирования *Termiton™ X4*».

В процессе эксперимента сравнвались характеристики, импортозамещающего изделия *Termiton™ X4* и торкрет-сопла, комплектующего установку СБ-67Б-2, производства завода Будмаш (Украина) (рис. 3 б). Оценивались потери компонентов торкретсмеси при отскоке, концентрация пыли и производительность.

Определение параметров пылевыделения при осуществлении набрызга бетона осуществляли согласно Приложения 7 (Инструкция по отбору проб рудничного воздуха) к §141 ПБ 06-111-95 «Единых правил безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом». Пробы осуществляли и обрабатывали сотрудники независимой пылегазоаналитической лаборатории Шерегешского ВГСВ Филиала «ВГСО Сибири и Алтая» ФГУП «ВГСЧ» аспиратором ПА-20М-1.

а б

Рис.3. Установки для ведения набрызгбетонных работ в шахте: а – aliva–237; б – СБ-67Б-2

В феврале 2015 г. промышленные испытания ствола *Termiton™ X4* и забор проб осуществлялись в орте № 49 (Блок № 49), горизонта +185 м, участка Главный, при работе установкой СБ-67Б-2 с применением россыпной песчанно-цементной смеси в соотношении П : Ц = 2 : 1, помещенной в шахтовый вагон и загружаемой в установку лопатой.

Первоначально осуществлялось набрызгбетонирование контура выработки установкой СБ-67Б-2 с использованием ствола *Termiton™ X4*. После измерения исследуемых показателей (концентрация пыли в воздухе рабочей зоны (табл. 2), масса отскочившего материала от контура выработки (табл. 3) и проветривания места набрызгбетонирования, за счет общешахтной депрессии, ствол *Termiton™ X4* меняли на ствол, комплектующий установку СБ-67Б-2. Мониторинг сравниваемых показателей осуществляли по аналогичной методике.

На основании анализа и обобщения результатов проведенных испытаний был составлен соответствующий акт, в котором комиссия отметила следующее:

- применение ствола *Termiton™X4* с установкой СБ-67Б-2 позволяет снизить запыленность воздуха рабочей зоны при набрызге бетона в 6 раз (с 60 мг/м^3 до 10 мг/м^3) и обеспечить бесперебойный режим работы погрузочно-доставочной техники;

- использование изделия *Termiton™X4* позволяет снизить массу отскочившего материала от контура выработки более чем в 5 раз до 3-6%, за счет чего повышается качество набрызгбетона, экономия сухих смесей и производительность труда до 30%.

Таблица 2

Результаты измерения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны

Дата и время отбора пробы	№ анализа	Место отбора пробы	Технологический процесс и тип работающих машин	Концентрация пыли, мг/м^3	Средняя концентрация пыли, мг/м^3
16^{10}–16^{25}	38	Г.+185м, орт 49, уч. Главный	Перед испытанием	4,0	10,4
16^{35}–16^{50}	39	Г.+185м, орт 49, уч. Главный	Набрызг бетона стволом *Termiton™ X4*	21,0	
17^{00}–17^{15}	40	Г.+185м, орт 49, уч. Главный	Набрызг бетона стволом *Termiton™ X4*	12,0	
17^{20}–17^{35}	41	Г.+185м, орт 49, уч. Главный	Набрызг бетона стволом *Termiton™ X4*	10,3	
Проветривание					
18^{35}–18^{50}	42	Г.+185м, орт 49, уч. Главный	Перед испытанием	7,3	61,6
19^{00}–19^{15}	43	Г.+185м, орт 49, уч. Главный	Набрызг бетона стволом СБ-67Б-2	33,3	
19^{30}–19^{45}	44	Г.+185м, орт 49, уч. Главный	Набрызг бетона стволом СБ-67Б-2	101,3	
20^{00}–20^{15}	45	Г.+185м, орт 49, уч. Главный	Набрызг бетона стволом СБ-67Б-2	72,0	

Таблица 3

Значения массы отскочившего материала от контура выработки при использовании различных стволов при набрызге бетона

Изделие	Торкретированная масса сухой смеси, кг	Масса отскока, кг	Сухая масса отскока, кг	% отскока	Средний % отскока
Ствол *Termiton™X4*	1050,0	62,0	55,8	5,3	5,3
Ствол СБ-67Б-2	1050,0	320,0	288,0	27,4	27,4

Аналогичные результаты были получены в декабре 2014 г. при испытании изделия *Termiton™X4* с англо-германской установкой aliva-237 при набрызге бетона на Горно-Шорском филиале ОАО «Евразруда» при выполнении подрядных работ ООО «Звездный» г. Магадан.

Полученные в ходе промышленных испытаний характеристики процесса набрызгбетонирования подземной горной выработки стволом *Termiton™X4* и штатным торкрет-соплом, комплектующее серийные установки СБ-67Б-2, aliva – 237 позволяют сделать следующие выводы.

1. Набрызгбетонирование с использованием *Termiton™X4* помимо социального эффекта, за счет снижения профзаболеваний, экологического эффекта, выбросов пыли в биосферу обеспечивает значительный экономический эффект.

2. Проведенные исследования в результате испытаний показывают, что при использовании традиционного ствола, с затворением сухой смеси диспергированной водой из отверстий, масса отскочившего материала в сухом состоянии составляет около 30%.

При стоимости сухой смеси 18000 руб./т и потерях (отскоке) 30%, убыток с каждой тонны сухой смеси составляет 5400 руб.

Снижение потерь, за счет отскока плохо затворенной сухой смеси в 6 раз при применении *Termiton™X4* позволяет экономить 4500 р/т. При использовании изделия согласно прилагаемой инструкции, ресурс ствола составляет не менее 150т сухих смесей. Экономический эффект от применения одного изделия *Termiton™X4* за счет снижения потерь компонентов при торкретировании 150т сухой смеси составляет 675000 руб.

3. Большие потери сухой смеси при набрызгбетонировании обуславливают и упущенную выгоду от снижения объемов крепления горных выработок. Применение *Termiton™X4* при торкретировании 150т сухих смесей позволит дополнительно (по сравнению со стволом СБ-67Б-2, aliva – 237) закрепить набрызгбетоном около 20 м выработки сечением 16 м^2.

4. Обеспечение бесперебойного режима работы погрузочно-доставочной техники, за счет снижения запыленности воздуха рабочей зоны при набрызге бетона в 6 раз позволит получить экономический эффект от предотвращения простоев при добыче и проведения горных выработок.

5. Высокий технический ресурс изделия обеспечивается возможностью замены элементов комплектующих конструкцию *Termiton™X4*.

6. Изделие *Termiton™X4* не имеет зарубежных аналогов (решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2014106021// 03(009587) от 18. 02. 2014г. Устройство для набрызга бетона, патентообладатель сибирская инжиниринговая компания ООО «СИБКОМ»).

7. *Termiton™X4* позволяет экономить при закупке торкрет-оборудования. Нет необходимости в приобретении дорогостоящего зарубежного оборудования, положительный результат обеспечивается на оборудовании от любого производителя.

8. *Termiton™X4* позволяет осуществлять импортозамещение малобюджетными отечественными сухими смесями за счет качественного их затворения при набрызге.

9. Использование охраноспособного изделия *Termiton™X4* обеспечивает высокие эксплуатационные качества, позволяющие ликвидировать недостатки базовых конструкций и получить значительный экономический эффект. *Termiton™X4* обладает существенными достоинствами, превосходит аналоги мировых брендов, способствует импортозамещению товаров и рекомендуется для ведения на предприятиях ОАО «Евразруда» обеспыливающего набрызгбетонирования.

В данный момент коммерческими службами ОАО «Евразруда» рассматривается возможность централизованного закупа изделия *Termiton™X4*.

Описанный нестандартный подход к решению проблем сухого набрызгбетонирования позволит создать на базе имеющихся конкурентно способных разработок импортозамещающее оборудование для набрызга бетона, сертифицировать и внедрить малобюджетную технологию сухого набрызгбетонирования на угольных предприятиях Кузбасса для изоляции контура при проведении и креплении горных выработок, а также при изоляции угольных целиков, выработок пройденных по пластам, склонных к самовозгоранию.

Список литературы

1.www.aliva.pro

2. Волченко Г.Н. Промышленные испытания ствола обеспыливающего набрызгбетонирования *Termiton X4* / Г.Н. Волченко, Б.Д. Исахаров, В.Н. Фрянов, Н.Г. Волченко, Е.А. Волков, В.В. Приб // Вестник СибГИУ. – 2015. - №1 (11). – С.32 – 35.

3. Венгловский В.Г. Совершенствование технологии набрызгбетонирования для повышения эффективности и качества крепления подземных выработок /В.Г. Венгловский, Г.Н. Волченко, В.Н. Фрянов, В.В. Приб, Н.Г. Волченко //. Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2014. – С.90 – 94.

УДК 622.533.17

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

д.т.н. Полевщиков Г.Я., к.т.н. Козырева Е.Н., Непеина Е.С., Рябцев А.А., Родин Р.И., Цуран Е.М.
Институт угля СО РАН,
г. Кемерово, Россия

Аннотация. Приведены результаты разработки методики и оборудования для оценки термодинамики процессов перехода состояния метана в угле после снятия напряжений от однофазной системы к двухфазной с сорбционным взаимодействием угля и метана на поверхностях раздела фаз. Показано, что с помощью современных технических и методических средств полученные результаты могут быть применены даже в такой сложной части измерений, как термодинамика процесса взаимодействия угля и газа.

Ключевые слова: угольный пласт, газоносность, динамические газопроявления, сорбционная метаноемкость, твердый раствор, напряжения, распад, температура, давление газа

До настоящего времени в подавляющем большинстве исследований свойств и состояний газоносных пластов превалируют положения теории сорбции [1 — 3], разработанные в начале второй половины XX века под руководством академика А. А. Скочинского. Однако уже на глубинах более 500 м газоносность пластов в 1.5 — 2 раза превышает пределы сорбционной способности углей, а начальная скорость выделения метана из разрушаемого пласта на порядки меньше таковой из угля, насыщенного метаном в лабораторной колбе [4, 5]. К тому же, в 1961 г. В. В. Ходотом [6] показано, что температура выделяющегося при внезапном выбросе газа должна, согласно термодинамике десорбции, понижаться относительно пластовой на 16 ^{0}C, но за многовековую историю проблемы выбросоопасности шахт этого эффекта не обнаружено.

Причины неадекватности представлений раскрыты в работах российских и зарубежных ученых, развивающих фундаментальные знания о состояниях метана в угольных пластах и условиях смены метастабильных состояний [7, 8]. Из этих работ следует, что углеметановый пласт представляет собой твердый углегазовый раствор (ТУГР — однофазная система), распад которого, обусловленный снижением напряжений, протекает с выделением энергии и формирует двухфазную систему с сорбционным взаимодействием на поверхностях раздела фаз. Продолжительность распада составляет около трех часов, что много больше времени выделения основной части метана после искусственного насыщения пробы угля в лабораторных условиях (десорбция). Основной причиной этому являются термодинамические отличия одно и двухфазных систем. Изучение этих отличий, учитывая ограниченность времени существования твердого раствора после снятия в нем напряжений, требует разработки соответствующих методов и устройств.

Модель ТУГР [9] предусматривает следующую структуру газоносности пласта вне зоны влияния горных работ: в составе твердого раствора 70 — 85 %; адсорбированный 8 — 16 %; свободный 2 — 12 %; прочие состояния 2 — 5 %. Основная часть метана находится в составе ТУГР, что объясняет сохранение газа в пласте вне зоны влияния горных работ длительные периоды времени, когда он может выделяться в поры только в режиме диффузии. Ее скорость столь мала, что в фильтрующих трещинах не формируется значимый градиент давления газа в направлении к обнаженной поверхности пласта, а его величина у поверхности трещин сохраняется близкой давлению воды в их объеме (угольные пласты не являются гидроизоляторами).

Ситуация резко меняется при снижении напряжений в пласте. ТУГР начинает распадаться, скорость диффузии газа из частиц и блоков угля в макропоры и микротрещины

возрастает. Давление свободного газа в них возрастает, стремясь к величине снижения напряжений. Геоматериал стремится перейти в новое метастабильное состояние. При этом повышении давление свободного газа несколько компенсируется за счет активизации процесса его адсорбции поверхностью пор и трещин, но может (при достаточно малой прочности угля) приводить к развитию микродислокаций в нем, связывая внутренний объем частиц и блоков с фильтрующими каналами. В них возникает градиент давления газа в направлении к обнаженной поверхности пласта, повышается скорость течения, а при высокой степени разгрузки зоны пласта от действовавших напряжений создаются условия для развития дислокаций до уровня диспергирования угля с переходом в форму внезапного выброса. Этому описанию соответствуют условия

$$\Delta P \le \sigma_1 - \sigma_2 ; \quad (1)$$

$$X_1 - X_2 = \left(X_{св} + X_а + X_ф\right) \varphi\left(\Delta P, К_ф, К_д\right), \quad (2)$$

где ΔP – повышение давления газа на границе зоны фильтрации, МПа; $(\sigma_1 - \sigma_2)$ – снижение механических напряжений, МПа; $(X_1 - X_2)$ – снижение газосодержания ТУГР, м^3/т; $X_{св}$ – свободный газ в макропорах и микротрещинах, м^3/т; $X_а$ – адсорбированный метан, м^3/т; $X_ф$ – фильтрующийся газ, м^3/т; $К_ф$ – коэффициент газопроницаемости пласта; $К_д$ – коэффициент диффузии блоков угля.

Таким образом, применение модели ТУГР объясняет длительность существования метана в угольных пластах при их не нулевой газопроницаемости, низкую продуктивность работ по заблаговременному извлечению газа и соответствует общепринятым особенностям газопроявлений в угольных шахтах. Однако это применение накладывает очень существенные условия при проведении исследований:

– оперативность измерения параметров процессов в природном геоматериале, т.к. он теряет основную часть свои качеств уже через три часа после снятия напряжений;

– изучение сорбционных свойств угля на этих же пробах после их полного газоистощения, но без предварительного термовакуумирования и контакта с воздухом.

Эти условия потребовали разработки специальных устройств и методик экспериментальных работ.

Выполнение требований к экспериментальному оборудованию обеспечено разработанными ИФП СО РАН, с участием авторов, конструкциями термометра распределенного шахтного и термобарометрической колбы, предназначенных для измерения динамики температуры газа на различных интервалах шпура и динамики давления и температуры газа в изолированном объеме колбы. Конструкция устройств позволяет контролировать изменения параметров с периодичностью снятия показаний через 5 — 600 секунд без замены электропитания в течение двух суток. Использовался также термостат, представляющий собой вырезанную в пенопласте емкость с размещенными в нем термометрами.

Основные этапы экспериментальных работ следующие:

- в бок или забой выработки бурится и зачищается от штыба шпур глубиной 1,5 м;
- измеряется температура воздуха в выработке и температура газа в устье шпура;
- перед началом бурения интервала шпура активируются электронные датчики в колбе, в которую будет засыпаться штыб;
- шпур углубляется на 1 м;
- регистрируется температура выделяющегося из шпура газа в период его бурения;
- на первой половине интервала шпура под шпур подставляется термобароколба и выбуриваемый штыб поступает в нее;
- после заполнения колбы она герметизируется, а в записной книжке фиксируют интервал шпура и время от момента окончания его бурения до герметизации колбы;
- в период бурения второй половины интервала шпура угольный штыб засыпается в термостат с установленным в нем термометром;
- в шпур помещается термометр распределённый шахтный и выполняется регистрация температуры выделяющегося на интервалах шпура газа электронными датчиками.

При дальнейшем бурении шпура процесс повторяется.

Получены следующие результаты.

Газоносный пласт. На рис. 1 и 2 приведены примеры шахтных измерений температуры. Наблюдающееся (рис. 1) кратковременное повышение температуры в течение первых 30 секунд следует отнести к инерционности использованных на данном этапе работы бытовых термометров [10]. Через 30 секунд имеем значительное снижение температуры от максимальной, а по истечении 5 — 6 минут ее стабилизацию на практически одинаковых значениях, как для отбитого угля, так и на устье шпура.

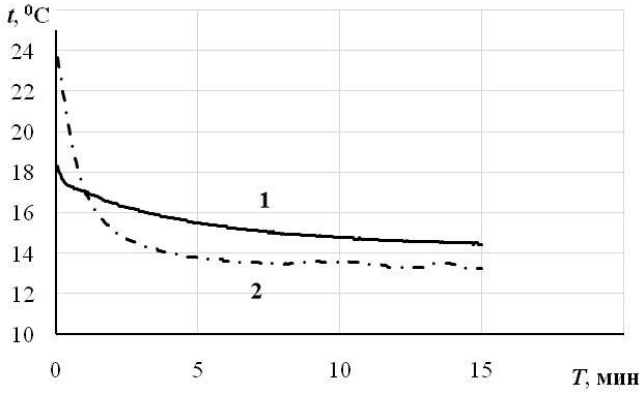


Рис.1. Изменение температуры газа *t*, выделяющегося из шпура (1) и выбуренного угля (2) во времени *T* (шахта «Березовская» пласт XXVII, природная газоносность 10 м^3/т, глубина от дневной поверхности 320 м)

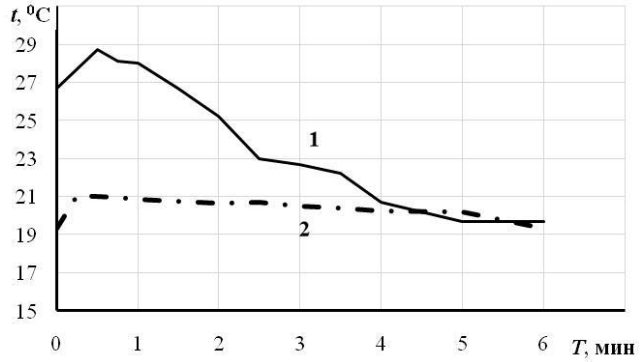


Рис.2. Изменение температуры газа *t* во времени *T* в устье (1) и забое (2) шпура после окончания его бурения (шахта «Чертинская» пласт 5, природная газоносность 28 м^3/т, глубина от дневной поверхности 560 м)

По длине шпура (рис. 2), применяются электронные датчики с малой инерционностью, динамика аналогична, но температура на последнем интервале после окончания бурения шпура существенно выше, что может быть объяснено более активным периодом механодеструкции [11] стенок свежепробуренного интервала шпура.

Таким образом, шахтные измерения температуры при свободном истечении метана в атмосферу как из отбитого угля, так и через поверхность шпура показывают ее снижение, что соответствует признакам режимов десорбции и расширения газа. А повышенная температура в течение первых минут может объясняться процессом механодеструкции угля в результате снижения напряжений. Однако, при этих измерениях напряжения в углеметановом материале резко снижаются от действовавших на интервале бурения шпура до атмосферного давления, что обеспечивает условия полного распада ТУГР с интенсивным формированием свободного и адсорбированного газа. Соответственно, и температура притока характерна для этих форм существования метана в угле. Для более точного измерения термодинамических параметров процесса распада необходима его поэтапная приостанов-

ка на некоторых уровнях метастабильных состояний. С этой целью и разработаны термобарометрические колбы и методика изучения свойств загруженных в них проб газоносного угля и проведения сорбционных тестов.

В лаборатории колбы устанавливались в стационарный термостат (20 ± 1 ^{0}C), где выдерживались около двух суток до достижения постоянного давления и температуры. Затем колбы подсоединяли к газосборным сосудам и замеряли объемы выпускаемого газа. Газ выпускали поэтапно, через 24 - 48 часов по 0,5 - 1,0 л/выпуск со средней скоростью примерно 4 мл/с, до полного газоистощения пробы.

Газоносный уголь. Поскольку после помещения проб в колбы они герметизируются, то газодинамика в эксперименте определяется снижением газоносности угля в результате снижения напряжений до давления газа, обусловленного притоком метана из пробы в свободный объем колбы. Размер частиц угля до 5 мм, средневзвешенный диаметр около 1 мм, и продолжительность отбора и герметизации пробы 1 – 1,5 минут исключают сохранение остаточных механических напряжений в угле.

На рис. 3 представлены графики изменения давления и температуры газа в колбе с газоносным углем. Их анализ показал, что при стабильном нарастании давления температура в колбе в течение первых 10 минут снижается, что можно объяснить охлаждением поверхности частиц угля нагретой при его выбуривании. Затем, в течение примерно 3 – 4 часов, она стабильно повышается с 18 до 20 ^{0}C, в некоторых случаях до 22 ^{0}C. В период ступенчатых выпусков газа снижения температуры не зафиксировано. Более того, каждый выпуск сопровождается кратковременным и небольшим повышением температуры.

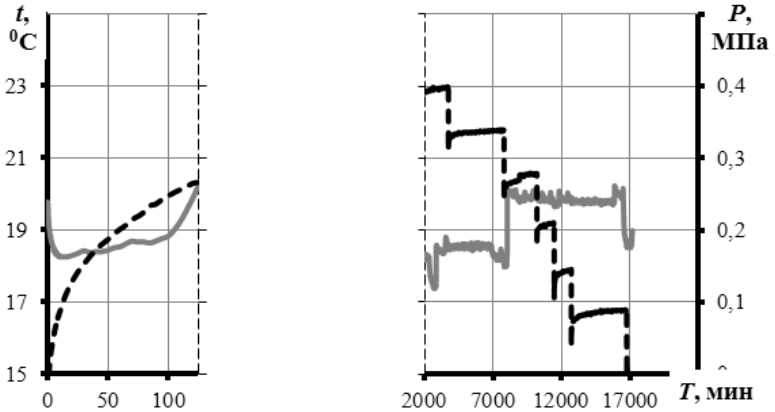


Рис. 3. Изменения во времени *T* давления *P* (а) и температуры *t* (б) газа в колбе с газоносным углем

Естественно, наиболее интересным периодом является время нарастания давления после герметизации колбы. Здесь происходит переход от действовавших на интервале выбуривания пробы напряжений в пласте (десятки мегапаскалей) до установившегося перед первым выпуском (доли мегапаскаля), т.е. в сотни раз.

Для анализа начальной стадии термодинамики процесса в качестве базовой температуры геоматериала была принята температура пласта (18 ^{0}C). Результат анализа представлен на рис. 4. В начале, был установлен тренд изменения температуры в период 30 — 200 минут (ТУГР), т.к. распад ТУГР шел непрерывно с момента выбуривания пробы, затем отклонения от этого тренда в период 0 — 30 минут (мех.), которые отнесены к следствиям механического нагрева пробы при выбуривании. На их основе рассчитан общий тренд процесса (общая). Малый диаметр частиц угля и длительность изменений температуры позволяют считать, что ее величина в свободном газе и в угле одинаковы.

В итоге видно, что термодинамика процесса газоистощения газоносного угля не соответствует представлениям о десорбции метана, согласно которым температура должна понижаться. Она не понижается, а повышается, т.е. газоносный уголь является диссипативной системой – свойство твердых углегазовых растворов. Причем, график нарастания

температуры показывает, что период распада составляет около трех часов, что опять же соответствует модели ТУГР. Столь наглядного изменения температуры при дальнейших ступенчатых выпусках газа не наблюдается, т.к. в их результате имеем снижение давления (напряжений в углеметане) всего лишь на доли единицы.

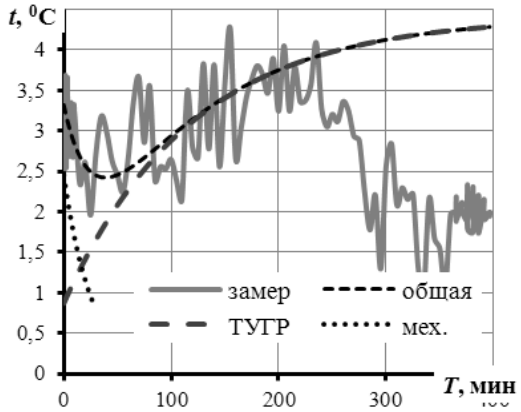


Рис. 4. Изменения температуры *t* газа в колбе, относительно температуры пласта, при газоистощении пробы газоносного угля

Газонасыщенный уголь (сорбционный тест). Эта же проба угля после ее полного газоистощения без контакта с воздухом насыщалась метаном до давления сорбционного равновесия и выполнялись ступенчатые выпуски газа. Получены графики, практически идентичные графику на рис. 3, но при несколько меньшей, примерно в полтора – два раза, амплитуде и продолжительности изменений температуры. Однако, качественное соответствие графиков сорбционных тестов режиму газоистощения газоносного угля указывает, что и при анализе десорбции следует более подробно рассматривать термодинамику процессов.

Благодаря ступенчатым выпускам газа определено газосодержание угля в одно и двухфазных углеметановых системах при различных давлениях (рис. 5). Видим, что при равных давлениях метана в колбе с пробой газоносного угля и угля искусственно насыщенного метаном удельное газосодержание отличается также примерно в полтора – два раза.

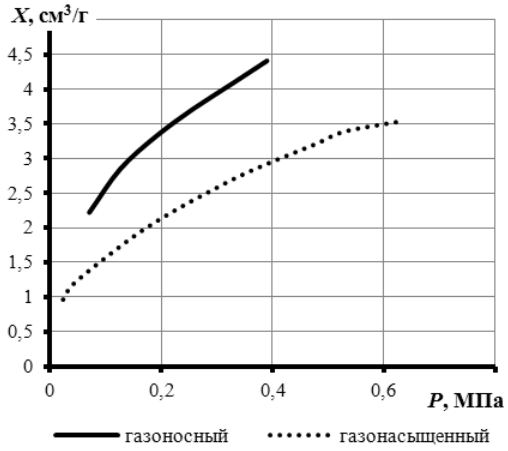


Рис. 5. Газосодержание *X* газоносного и газонасыщенного угля при различных давлениях метана *P*

Таким образом, полученные результаты показывают:

– перспективность разработанной методики и оборудования для изучения свойств и метастабильных состояний углеметанового геоматериала, как однофазной системы по типу твердого раствора, необратимо распадающейся при снижении напряжений на двухфазную систему с сорбционным взаимодействием газовой и твердой компонент;

– обязательность комплексного подхода к исследованиям свойств многокомпонентных геоматериалов и их лабораторных подобий;

– необходимость поиска технических решений по отбору проб газоносных геоматериалов с сохранением в них природных напряжений, либо более существенному сокращению времени между разрушением материала и герметизацией пробы при минимальном свободном объеме в пробоотборнике, например, по способу [12].

Список литературы

1. Эттингер И.Л. Газоемкость ископаемых углей. – М., 1966.
2. Эттингер И.Л. Распределение метана в порах ископаемых углей / И. Л. Эттингер, Н. В. Шульман – М.: Наука, 1975. – 111 с.
3. Эттингер И.Л. Сравнение расчетного и экспериментального методов определения метаноносности угольных пластов глубокого залегания / И. Л. Эттингер, Б. М. Косенко, Н. В. Шульман и др. // Охрана и оздоровление воздушной среды в шахтах. – М., 1978.
4. Номограммы для расчета газовыделения при разрушении угля. – Люберцы, 1967. – 171 с.
5. Полевщиков Г.Я. Динамические газопроявления при проведении подготовительных и вскрывающих выработок в угольных шахтах. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, – 2003. – 314 с.
6. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 363 с.
7. Эттингер И.Л. Растворы метана в угольных пластах / И.Л. Эттингер // Химия твердого топлива. – № 4. – 1984. – С. 28 – 35.
8. Эттингер И.Л. Метанонасыщенный угольный пласт как твердый метаноугольный раствор / И Л. Эттингер // ФТПРПИ. – № 2. – 1990. – С. 66 – 72.
9. Малышев Ю.Н. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы угольных пластов / Ю.Н. Малышев, К.Н. Трубецкой, А.Т. Айруни // М.: ИАГН, 2000 – 519 с.
10. Полевщиков,Г.Я. Определение газокинетических характеристик угольных пластов / Г.Я. Полевщиков, А.А. Рябцев, В.П. Титов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – № 2. – 2013 – С. 78 – 84.
11. Скрицкий В.А. Механизм возникновения очагов самовозгорания угля в шахтах и способы их предотвращения: монография. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. Гос. Акад. Вод. Трансп., 2013. – 279 с.
12. Пат. №2526962 РФ, кл. E21F7/00. Способ определения газокинетических характеристик угольного пласта / Г.Я. Полевщиков, А.А. Рябцев, Е.С. Непеина, Е.М. Цуран, В.П. Титов, Е.А. Ванин, М.С. Мельгунов, Л.А. Назарова, Л.А. Назаров. Опубл. 27.08.2014. Бюл. № 24.

УДК 622.831.2

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОГЕННОГО РАЗВИТИЯ ИЕРАРХИИ ГЕОСТРУКТУР В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД

к.т.н. Козырева Е. Н., к.т.н. Шинкевич М. В., Леонтьева Е. В.
Институт угля СО РАН,
г. Кемерово, Россия

Аннотация. Рассмотрены особенности геомеханических процессов при подземной отработке угольных пластов длинными столбами по простиранию. Обоснована параметрическая модель этих процессов, учитывающая волнообразность внешней поверхности геоструктур как по линии очистного забоя, так и длине выемочного столба. Соответствие модели реальным процессам в углегазоносном массиве проверено методами рудничной газодинамики.

Ключевые слова: рудничная газодинамика, геомеханика, упругая энергия, массив горных пород, техногенная структуризация, модель процессов, длинный очистной забой, метанообильность

Подземная разработка угольных месторождений приводит к изменению напряженного состояния массива горных пород вплоть до образования мульды сдвижения на дневной поверхности. Техногенные геомеханические процессы охватывают значительные объемы углегазоносного массива, формируют интенсивные газовые потоки, как в выработанное пространство, так и на поверхность и, тем самым, обуславливают газовую опасность шахт и наземных сооружений. Одним из путей преодоления этих негативных особенностей является уточнение знаний о геомеханических процессах в области ведения горных работ.

В угольной отрасли действуют нормативные документы [1, 2], которые содержат методы определения газовыделения в горные выработки, а также расчеты сдвижений и деформаций, обобщающие горный опыт всех шахт СНГ за многие десятилетия и ориентированные на вычислительные возможности инженерных служб шахт прошлого века. Согласно нормативному документу [2] параметры процесса сдвижения подрабатываемого массива в сечении, нормальном подвиганию забоя, определяются углами полных сдвижений; для Кузбасса углы полных сдвижений подрабатываемого массива при пологом залегании пласта постоянны и равны 50^0, а для пород непосредственной и основной кровли принимается равной 45^0.

Отметим, что за последние 15 – 20 лет в угольной промышленности произошли весьма существенные технологические и технические изменения. Увеличились скорости подвигания очистных забоев, геометрические размеры выемочных участков, глубина и газоносность отрабатываемых пластов. Эти изменения затрудняют проектирование эффективных параметров высокопроизводительных забоев на основе предшествующего опыта.

Анализ эффективности систем отработки выемочных участков показал, что для уточнения динамики геомеханического процесса, охватывающего многие миллионы тонн углегазоносных пород, достаточно отследить один из его конечных результатов – изменение метанообильности выемочного участка при движении очистного забоя. При этом применение методов рудничной газодинамики на месторождениях с различной стратиграфией и последовательностью отработки пластов в свите позволяет выявить существенную нелинейность изменений метанообильности при движении очистного забоя с периодичностью изменений многократно большей шагов обрушения основной кровли, заставляющую говорить о явной волнообразности процесса [3 – 6].

Исследования техногенных газогеомеханических процессов в углегазоносных массивах и разработка способов снижения их негативного влияния на безопасность горных работ активно проводятся в ИУ СО РАН и в других научно-исследовательских институтах [7 – 16]. Создание модели этих процессов, адекватно отражающей такие техногенные изменения, как напряжения, разгрузка, сдвижения, дезинтеграция вмещающего массива, его газодинамическое и напряженно-деформированное состояние и др. ориентированы на принятие эффективных технологических решений, как на стадии проектирования, так и ведения горных работ.

Отработка угольных пластов приводит к разупрочнению породного массива, меняя его свойства как в вертикальном (по глубине ведения горных работ), так и в горизонтальном (по простиранию пласта) направлениях.

Для решения прикладных газогеомеханических задач в ИУ СО РАН разработана параметрическая модель развития нелинейных газогеомеханических процессов в массиве горных пород при движении длинного очистного забоя, уточняющая закономерности классической геомеханики.

На первом этапе приближения массив рассматривается в виде однородной изотропной среды находящейся в области равных напряжений. Движение забоя создает технологически обнажаемую поверхность, в направлении к которой возникает процесс упругого восстановления вмещающего массива с формированием параболоидных сводов сдвижений. Диаметр основания основного свода в √2 раз больше длины очистного забоя, а его высота в два раза меньше этой длины. Поскольку реализация упругой энергии пород начинается от их контакта с отрабатываемым выемочным столбом, то внутри основного свода формируется иерархия вложенных сводов с параметрами кратными основному. Такая модель развития процесса отражает основное правило – при изменении внешних условий геосреда переходит в новое метастабильное состояние, снижая свой энергетический потенциал путем отторжения части своей массы. При этом формирование иерархии сводов является следствием самоорганизации однородной изотропной геосреды в поле равных напряжений при ее одноосной разгрузке

Для удобства алгоритмизации модели массив горных пород представляется в виде совокупности геомеханических слоев, мощности которых равны высотам сводов и соответствуют принципу суперпозиции с кратностью – два. Тем самым, обеспечивается количественная связь между длиной очистного забоя и параметрами процесса дезинтеграции массива горных пород. Параметризация позволяет оперативно «проиграть» с помощью изменения длины очистного забоя различные варианты геомеханической структуризации массива с определением мощности h_n геомеханических слоев n-го уровня иерархии.

На втором этапе приближения модели к реальности рассматривается неоднородный массив с переменными по вертикальной оси напряжениями. Здесь неоднородность среды учитывается средневзвешенными для каждого геомеханического слоя значениями модуля упругости, а нелинейность распределения упругой энергии по глубине залегания слоев по формуле

$$Э_n = \frac{k^2}{6E_n}\left(H_{\text{р}}^3 - \left(H_{\text{р}} - h_n\right)^3\right), \text{ МДж},$$

где k − коэффициент литологического давления, МПа; E_n – модуль упругости пород n-го геомеханического слоя, МПа; H_p – глубина залегания отрабатываемого пласта, м; h_n – мощность n-го геомеханического слоя, м.

Для образования боковой поверхности увеличивающихся сводов требуется рост упругой энергии пород в соответствующем объеме формирующегося геомеханического слоя. Эта энергия может быть обеспечена ростом только мощности слоя, так как основание основного свода сдвижений ограничено технологически создаваемым в отрабатываемом пласте прямоугольном вырезом. Следовательно, с ростом глубины залегания отрабатываемого пласта угол полных сдвижений подрабатываемого массива возрастает и, как показали расчеты [17], при глубинах 1500 м он составляет около 70^0.

В качестве одной из графических интерпретаций разработанной модели является вертикальная схема геомеханической структуризации массива по длине выработанного пространства $L_{\text{в}}$, представленная на рис. 1. Линейное снижение напряжений в геосреде с приближением к дневной поверхности и одноосная разгрузка объемно напряженного геоматериала обуславливают изменение высоты сводов. На рис. 1 своды сдвижений изображены сплошными линиями, а пунктирными линиями – наиболее удобные для алгоритмизации синусоидальные функции, которые аппроксимируют контуры верхней половины сводов, высотой h_n.

Подобное развитие процесса происходит и в плоскости, нормальной оси выемочного столба. В результате имеем достаточно сложную волнообразную поверхность. Для простоты расчетов интенсивности разгрузки пласта-спутника и, соответственно, газопритока на выемочный участок и вводится аппроксимация синусоидами верхних частей сводов.

Для повышения адаптивности модели в части учета неоднородности массива и переменных по глубине от дневной поверхности напряжений, модель предусматривает

использование горнотехнологических данных о шагах обрушения кровли. Установлено, что при оценке упругой энергии ближайшего к пласту геомеханического слоя его мощность следует принимать равной половине вторичного шага обрушения основной кровли на данном интервале выемочного столба, но выдерживая правило его кратности длине очистного забоя. Эта особенность позволяет допустить, что реализация упругой энергии пород приводит к возникновению поверхностей нарушения сплошности массива, к которым и приурочена периодичность обрушения формирующихся уже после снижения вертикальных напряжений консолей. Причем, каждый следующий уровень включает все предыдущие. Это дополнение позволило рассматривать своды сдвижений при техногенной структуризации подрабатываемого массива с учетом нелинейного изменения его упругой энергии (рис. 2 и 3).

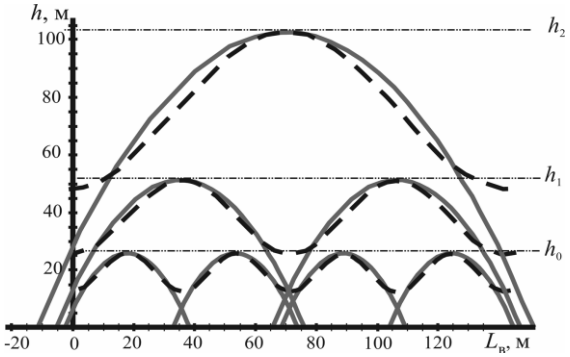
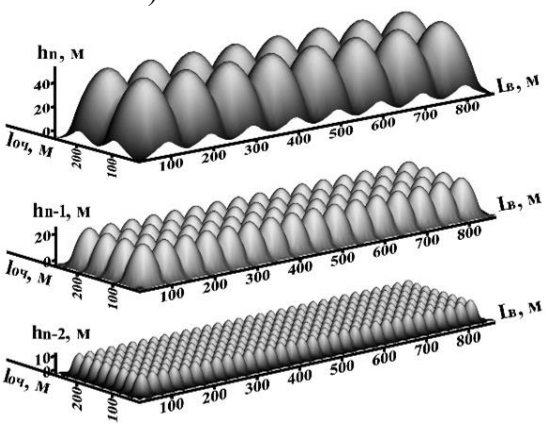


Рис. 1. Вертикальная проекция сводов сдвижений в подрабатываемом массиве в результате его геомеханической структуризации при движении очистного забоя

Аналогичные процессы происходят и в надрабатываемом массиве, но особенности нелинейного изменения упругой энергии пород здесь приводят к снижению высоты сводов (мощности геомеханических слоев).

а)



б) (в

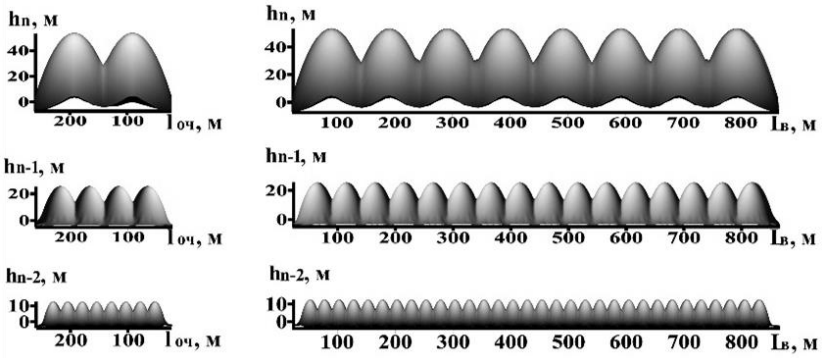


Рис. 2. Трехмерная схема развития геомеханического процесса в подрабатываемом массиве с учетом реализации упругой энергии: (а) общий вид; (б) со стороны очистного забоя ($l_{оч}$); (в) по длине выработанного пространства ($L_в$)

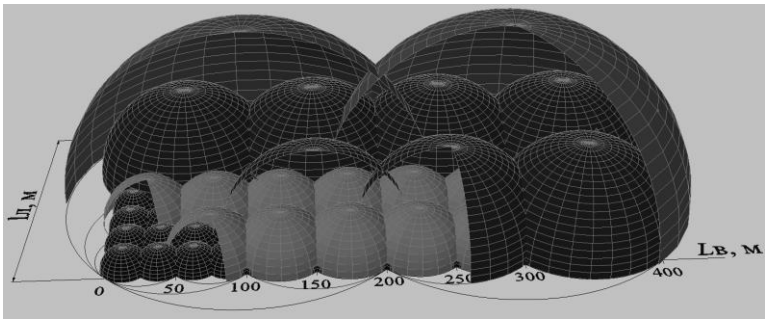


Рис. 3. Параметрическая модель развития геомеханического процесса в подрабатываемом массиве с учетом реализации упругой энергии и с интеграцией сводов сдвижения

Приведем основные положения уточнений, принятых в параметрической модели техногенного формирования иерархии геоструктур в массиве горных пород:

- технологически обнажаемая поверхность массива имеет прямоугольную форму, соответствующую геометрическим размерам отрабатываемого выемочного участка;
- угол полных сдвижений пород у обнаженной поверхности массива равен 45°;
- массив горных пород представлен в виде совокупности техногенных геомеханических слоев;
- потенциальная энергия массива определяется модулем упругости и плотностью пород, глубиной их залегания;
- минимальные затраты энергии на разрушение тела соответствуют его делению на две части;
- разрушение тела на две части происходит по его наибольшей длине на обнаженной поверхности массива;
- минимальные затраты энергии на создание новой поверхности при одноосной разгрузке соответствуют образованию тел параболоидной формы.

В заключении отметим, что применение разработанной модели к решению задач прогноза динамики метанообильности высокопроизводительного выемочного участка позволяет объяснить, что основой ее периодических изменений является нелинейность геомеханических процессов [3 – 6, 12 - 16]. Сравнения фактических и расчетных данных метанообильности выемочных участков показывают отклонения не более 20 %, что подтверждает эффективность разработанной параметрической модели техногеннного развития иерархии геоструктур в массиве горных пород при решении прикладных задач.

Список литературы

1. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков угольных шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок // Утверждена приказом Минприроды России от 8 октября 2009 года № 325. – 146 с.

2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. − СПб., 1998. – 291 с.

3. Полевщиков, Г. Я. Адаптивный прогноз метанообильности очистного забоя / Г. Я. Полевщиков, Е. Н. Козырева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2000. – № 7. – С. 35–39.

4. Пат. № 2211334 РФ, 7E21F1/00. Способ прогноза газообильности выемочных участков угольных шахт / Полевщиков Г. Я., Козырева Е. Н., Назаров Н. Ю., Рудаков В. А., Потапов П. В. Заявлено 09.07.2001; Опубл. 27.08.2003, Бюл. № 24.

5. Козырева, Е. Н. Уточнение прогноза метановыделения из вмещающих пород и пластов-спутников / Е. Н. Козырева, М. В. Писаренко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2002. – № 9. – С. 97–98.

6. Козырева, Е. Н. Комплексный прогноз динамики метанообильности высокопроизводительных выемочных участков / Е. Н. Козырева // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2004. – № 6.1. – С. 95–97.

7. Черданцев, Н. В. Обоснование геомеханической модели разрушения многосвязного массива горных пород с прочностной анизотропией / Н. В. Черданцев, В. Т. Преслер, В. Ю. Изаксон // ГИАБ. – 2009. –№ ОВ 7 – С. 122 – 125.

8. Клишин, В. И. Создание оборудования для дегазации угольных пластов на принципе гидроразрыва горных пород / В. И. Клишин, М. В. Курленя // Уголь. – 2011. – № 10. – С. 34 – 38.

9. Патент РФ № 2472941. Способ гидроразрыва угольных пластов / Клишин В. И., Кокоулин Д.И. Опубл. 2013, Бюл. № 2.

10. Пат. №2392442 С1 РФ, Е21F 7/00 Способ дегазации отрабатываемого угольного пласта / Полевщиков Г. Я., Козырева Е. Н., Шинкевич М. В.; Заявлено 27.10.2008; Опубл. 20.06.2010, Бюл. № 17.

11. Портола, В. А. Эндогенная пожароопасность шахт в условиях управления газовыделением средствами вентиляции // Безопасность труда в промышленности. – 2006. – № 9. – С. 32 – 35.

12. Козырева, Е. Н. Особенности газогеомеханических процессов на выемочном участке шахты / Козырева Е. Н., Шинкевич М. В. // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности, 2010. – № 2. – С. 28–35.

13. Козырева, Е. Н. Некоторые особенности управления метанообильностью высокопроизводительного выемочного участка / Е. Н. Козырева, М. В. Шинкевич, Н. Ю. Назаров // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2011. – № 9. – С. 322–325.

14. Тайлаков, О. В. К оценке ресурсов шахтного метана в выработанном пространстве / О. В. Тайлаков, В. О. Тайлаков, М. П. Макеев, С. В. Соколов, А. Н. Кормин // ГИАБ. – 2013. – № ОВ 6 – С. 160 – 165.

15. Полевщиков, Г. Я. «Деформационно-волновые» процессы в массиве горных пород при движении очистного забоя в угольных пластах / Г. Я. Полевщиков // ФТПРПИ, 2013. − № 5. − С. 50–60.

16. Полевщиков, Г. Я. Нелинейные изменения метанообильности высокопроизводительного выемочного участка / Г. Я. Полевщиков, Е. Н. Козырева, М. В. Шинкевич // Безопасность труда в промышленности, 2014. – № 6. – С. 50–54.

17. Полевщиков, Г. Я. Фрактальная особенность структуризации массива горных пород в изменениях давления на призабойную часть угольного пласта отрабатываемого длинным очистным забоем / Г. Я. Полевщиков, М. В. Шинкевич, Е. В. Леонтьева, А. А. Черепов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности, 2012. − № 3. – С. 16–23.

УДК: 622.281

ОПЫТ ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫРАБОТОК ДВУХУРОВНЕВОЙ АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ НА ГРАНИЦЕ С ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ КРУТОНАКЛОННОГО ПЛАСТА

Райко Г.В., Самок А.В.
ООО «РАНК 2»,
г. Кемерово, Россия

Аннотация. Представлен опыт применения двухуровневой анкерной крепи в вентиляционном и конвейерном штреках выемочного участка №362 на пласте с углом наклона свыше 35° ООО «Шахта Чертинская-Коксовая».

Ключевые слова: двухуровневая анкерная крепь, канатный анкер, анкер глубокого заложения.

В настоящее время в Кузбассе имеется ряд шахт, отрабатывающих угольные пласты с углом наклона свыше 35°. Примером может служить ООО «Шахта Чертинская-Коксовая». На предприятии велась отработка выемочного участка №362 пласта 3 с углом падения свыше 35° (рис. 1). Горно-геологическая характеристика выемочного участка представлена в табл. 1.

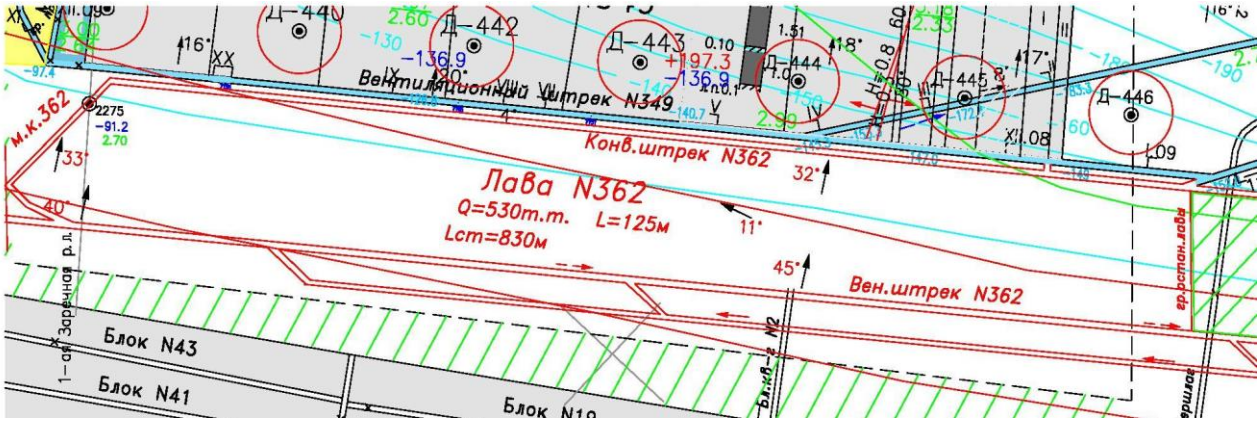


Рис. 1. Выкопировка с плана горных работ пласта 3

Анализ практического опыта крепления выработок с применением двухуровневой анкерной крепи показал возможность эффективного её применения для крепления горных выработок в горно-геологических условиях ООО «Шахта Чертинская-Коксовая» [1-2].

Таблица 1

Горно-геологическая характеристика выемочного участка

Наименование показателя	Значение
Средняя мощность угольного пласта	2,71 м
Угол падения пласта	32-45°
Коэффициент крепости угля	f=1,3 (хрупкий, трещиноватый)
Глубина отработки	230 – 370 м
Непосредственная кровля	3,50-8,70 м (алевролиты мелкозернистые, f=4,0-5,0)
Основная кровля	15-30 м (песчаники среднезернистые, трещиноватые, f=6,0-7,0)
Угрожаемый по горным ударам с глубины	200 м
Опасен по внезапным выбросам угля и газа с глубины	300 м

Крепление выработок осуществлялось с применением сталеполимерных анкеров длиной 2,8 м, в количестве пять штук в ряду с шагом крепления 0,8 м. В качестве подхватов для крепления кровли использовался швеллер №10 длиной 4,5 м. Для перетяжки пород кровли применялась металлическая решетчатая затяжка. Кроме этого в промежутках между подхватами дополнительно устанавливался канатный анкер АК 01 длиной 5,0 м под опорную полусферическую шайбу (рис. 2). Отработка выемочного столба осуществлялась без крепей сопряжения и с сохранением вентиляционного штрека № 362 в качестве газодренажного.

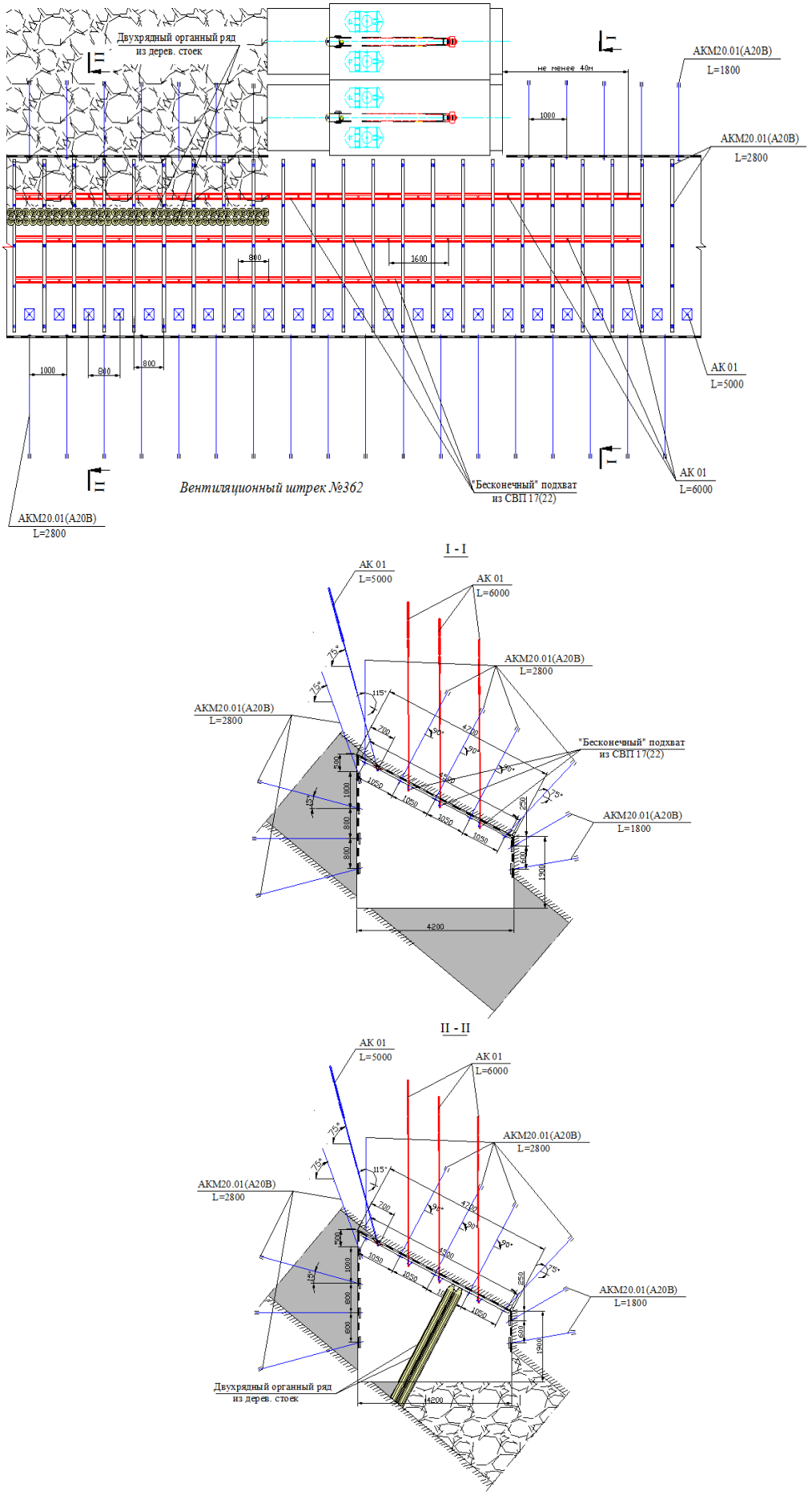


Рис. 2. Схема усиления крепления вентиляционного штрека №362

Для обеспечения возможности работы лавы без применения передвижной механизированной крепи сопряжения, а также для сохранения вентиляционного штрека № 362 в зоне влияния опорного давления специалистами компании ООО «РАНК 2», была разработана техническая документация по расчету параметров усиления крепи вентиляционного и конвейерного штреков выемочного участка канатными анкерами АК 01. Документ был разработан согласно «Инструкции по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах» (Приказ Ростехнадзора от 17.12.2013 № 610) [3], в которой обрела законность методика расчета двухуровневой анкерной крепи в сочетании с анкерами глубокого заложения.

На расстоянии не менее 40 м перед очистным забоем крепь усиливалась канатными анкерами АК 01 длиной 6,0 м, которые устанавливались под «бесконечный» подхват из СВП 22 в промежутках между поперечными подхватами основной крепи. Закрепление канатных анкеров в шпуре производилось на ампулы с полиэфирной смолой. Для поддержания вентиляционного штрека № 362 на границе с выработанным пространством, крепление выработки усиливалось установкой двухрядного органного ряда из деревянных стоек.

На протяжении всего срока отработки выемочного участка №362 производилась оценка состояния контура и крепи выработок методом визуального наблюдения за глубинными реперами. При осмотре состояния выработки особое внимание уделялось наличию раскрытых трещин в кровле и боках выработки, вывалам пород из кровли между анкерами, вывалам угля из боков выработок, видимым отслоениям приконтурных слоев пород кровли и другим признакам проявления горного давления.

По результатам обследований и наблюдений состояния контура и крепи вентиляционного штрека № 362 можно сделать следующие выводы:

1. Смещения пород кровли в выработке в зоне опорного давления от очистного забоя, на сопряжении с очистным забоем, а также в сохраняемой части за очистным забоем не превышали 300 мм.

2. Усиление основной крепи вентиляционного и конвейерного штреков выемочного участка №362 анкерами глубокого заложения позволило при работе очистного забоя не использовать механизированную крепь сопряжения.

3. На протяжении всего срока отработки выемочного столба состояние вентиляционного штрека № 362 в завальной части оставалось удовлетворительным. Подхваты и решетчатая затяжка поджаты к кровле, гайки на анкерах затянуты, провисания решетчатой затяжки и отслоение породы незначительные. Прорывы опорных элементов отсутствуют. Отжимы угля со стороны боков выработок локальные и незначительные.

Таким образом, разработанная специалистами ООО «РАНК 2» схема крепления конвейерного и вентиляционного штреков выемочного участка №362, в условиях отработки выемочного столба без применения передвижной механизированной крепи сопряжения, а также сохранения вентиляционного штрека №362 для повторного использования в качестве газодренажного, обеспечила устойчивость пород кровли и боков выработок на весь срок службы. Успешное решение поставленной задачи перед специалистами компании обеспечило бесперебойную и безаварийную работу лавы №362 на пласте с углом наклона свыше 35°, а также способствовало повышению безопасности ведения горных работ.

Список литературы

1. Ануфриев В.Е. Опыт применения канатных анкеров в качестве крепи усиления демонтажных камер и выработок, поддерживаемых на границе с выработанным пространством и методика расчета их параметров / В.Е. Ануфриев, М.Г. Лупий и др. - Кемерово. 2008. - 220 с.

2. Опыт доупрочнения канатными анкерами кровли выработок, сохраняемых на границе с выработанным пространством / В. Е. Ануфриев, А. С. Позолотин, А.А. Ренев // Вестник КузГТУ. – 2004. – №2. С. 55–60.

3. Приказ Ростехнадзора «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности от 17.12.2013 N 610 «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Российской Федерации» [Электронный ресурс] // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ. – 2013. С. 195. [Интернет-портал]. URL: http://minjust.consultant.ru/page.aspx?1094937 (дата обращения: 15.04.2015г.).

УДК 658.567.1.691

ЗАМЕНА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

к.т.н. Панова В.Ф., к.т.н. Панов С.А.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Приведены результаты исследования техногенных пород: рудных и угольных отходов углеобогащения; горелых пород; отходов энергетики; газоочистной пыли; отходов металлургии; характерных для промышленных предприятий Кузбасса. Представлена модель работы с ними как вторичным минеральным сырьем (ВМР) для стройиндустрии. Описана методика оценки отходов как заполнителей бетонов и растворов, а также расчет состава бесклинкерного, безобжигового цемента с применением коэффициента основности.

Ключевые слова: промышленные отходы, вторичные минеральные ресурсы (ВМР), цемент, заполнитель, методы, сырье.

Сырьевая база стройиндустрии складывается из двух видов сырья – природного и техногенного (промышленных отходов). Минеральные отходы по составу и свойствам близки к природному сырью, поэтому их применение в производстве строительных материалов являются одним из основных направлений снижения расхода природных сырьевых ресурсов и улучшения экологии окружающей среды. Наука и практика показывают, что промышленные отходы могут и должны перерабатываться на месте их образования [1, 2]. Техногенные продукты металлургии: шлаки черной, цветной металлургии; сталеплавильные шлаки; продукты литейного производства и газоочистки; отходы рудо- и углеобогащения, горелые породы; промышленные отходы энергетики; отходы горнодобывающей промышленности – это не полный перечень пород, которые изучались в лаборатории «Строительные материалы» СибГИУ (табл. 1). Накоплен и обобщен опыт работы с промышленными отходами.

Вторичные минеральные ресурсы (ВМР) можно характеризовать как по способу образования, так и по агрегатному состоянию на три группы (А,Б,В), а также по коэффициенту основности, который дает возможность определить направление их применения (рис. 1).

Классификация техногенных продуктов по агрегатному [3,4] состоянию:

Группа А – продукты, не утратившие природных свойств (карьерные остатки при добычи пород, «хвосты» обогащения руды и природного угля). Они не претерпели физико-химических изменений природного сырья. Это, как правило, инертное сырье. Направление их применения, как заполнитель.

Группа Б – отходы, полученные в результате глубоких физико-химических и термических процессов, это продукты, полученные при высоких температурах или из рас-

плава скоростного или медленного охлажденного, а также из растворов солей нерастворимых соединений. Они относятся к активному сырью.

Группа В – продукты, образовавшиеся при длительном хранении в шлаконаполнителях, продукты распада или самопроизвольного самообжига, например, горелые породы или высокоосновные сталеплавильные шлаки (мартеновские, конверторные).

Таблица 1

Химический состав минеральных отходов предприятий Кузбасса

Содержание оксидов, %	Сталеплавильный шлак		Металлургический доменный шлак		Литейная, отработанная формовочная смесь	Пыль газоочистки:		Отходы энергетики (Беловской ГРЭС)		Горелые породы		Отходы углеобогащения ЦОФ			Рудные хвосты «Абагурской аглофабрика»
	ККЦ -1	ККЦ-2	отвальный «ЗСМК»	гранулированный ЗСМК		известковая	ферросплавная	зола-унос	золо-шлаковая смесь (отвал)	г. Мыски	г. Новокузнецк	«Кузнецкая»	«Абашевская»	«ЗСМК»	
SiO_2	20,2	16,0	36,0	38,07	88,5	3,95	90,1	61,3	54,8	66,6	61,7	52,5	67,1	58,9	38,2
CaO	28,2	20,9	37,7	42,01	0,23	61,8	0,71	4,81	3,76	7,29	11,4	2,88	0,95	2,1	12,6
MgO	16,7	12,4	9,55	6,55	0,21	1,21	0,97	1,76	1,53	0,41	0,41	1,52	0,52	1,01	5,8
Al_2O_3	7,9	10,9	12,0	10,36	7,98	1,07	1,93	20,7	25,8	9,0	9,52	1,73	22,2	19,8	9,7
FeO										0,35	0,43	3,06			8,0
Fe_2O_3	18,8	34,5	0,63	0,37	1,13	3,77	-	5,28	6,25	5,98	5,58	0,61	4,63	13,9	11,0
SO_3	1,19	0,53					0,8	-	0,87	0,68	0,49	-	0,42	0,23	2,8
K_2O+ Na_2O			1,0	1,05	0,52	0,4	1,93	4,34	1,63	8,6	9,96	2,12	3,65	3,42	2,17
MnO	7,03	5,24	0,57	0,62	10,0	0,03	0,21	-	1,25						0,45
TiO_2			0,99	0,94	0,23	0,05	0,02	-	0,47						0,28
ППП			1,42	-	1,09	28,0		1,75	3,64	0,61	3,72				7,56

Рис. 1. Определение направления использования ВМР

Предлагается следующая последовательность работы с породой, для установления пригодности ее применения в производстве строительных материалов и изделий (рис. 2).

На первом этапе необходимо оценить агрегатное состояние и объемы накопления: малотоннажные или крупнотоннажные, т.е. экономичность изучения и последующего применения техногенного продукта. Далее необходимо оценить экологичность. При отрицательном показателе на радиоактивность и токсичность (этап 2) определяются её веще-

ственный состав и физико-химические характеристики с определением направления применения [5].

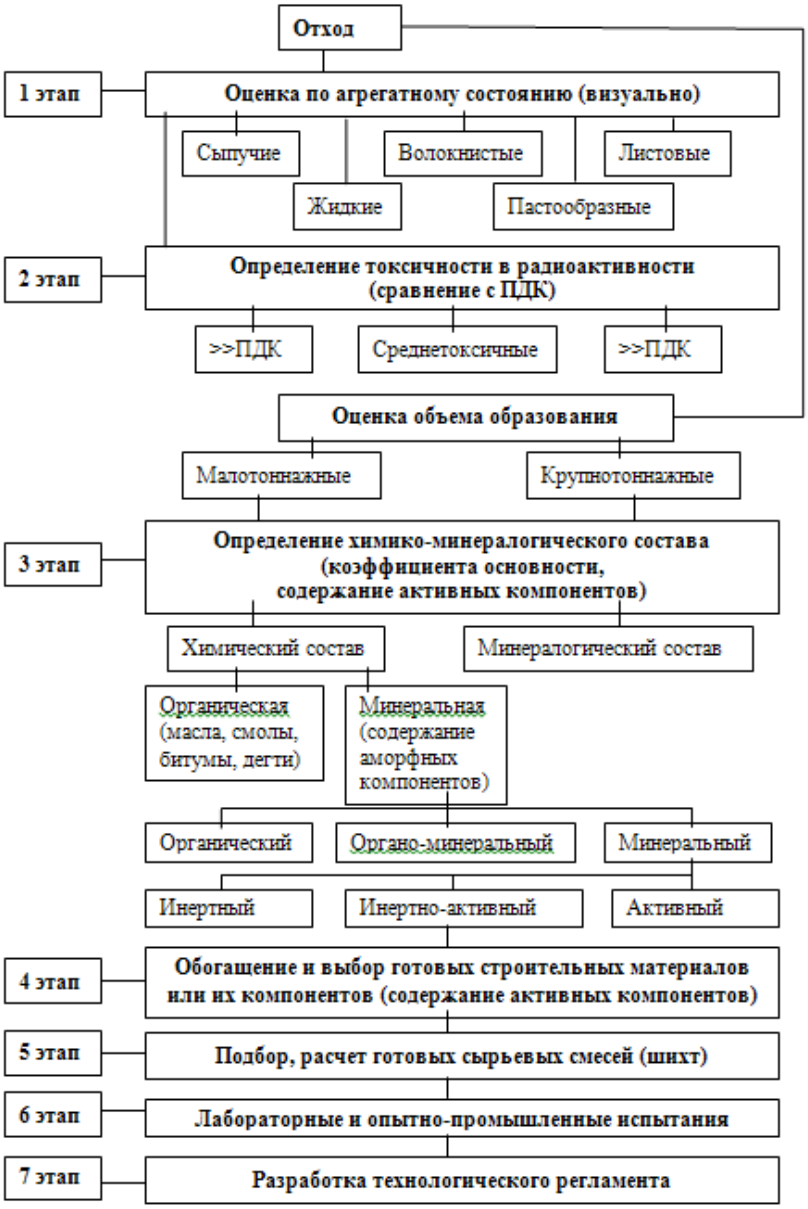


Рис. 2. Модель исследования и применения техногенных пород как вторичного минерального сырья (ВМР) для стройиндустрии

Оценка сырья на радиоактивность осуществляется по ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение эффективной удельной активности естественных радионуклидов». К радиоактивным элементам отнесены Ra^{226}, Th^{232} и K^{40}. Суммарная эффективная удельная активность естественных радионуклидов определяется по формуле

$$A_{эфф}=A_{Ra}+1{,}31A_{Th}+0{,}085A_{K}.$$

Для всех видов строительства применимы породы с $A_{эфф}<370$ Бк/кг.

Содержание токсичных веществ, выделяемых строительным сырьем в воздух, не должно превышать предельно допустимой концентрации (ПДК), указанной в гигиенических нормативах ГН 2.1.6.695-98 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест». К основным токсичным элементам относятся оксиды: MnO_2, NO_2, CO, SO_2, а также мышьяк, пыль, ртуть, свинец, сажа; сернистые соединения: PbS, H_2S, H_2SO_4, SO_2, CS_2; фтор, фтористый и хлористый водород. ПДК оценивается в мг/м^3 вредных веществ выделяемых в атмосферу.

В случае соответствия изучаемых пород указанным нормативам идет оценка вещественного и химико-минералогического состава сырья (этап 3). Многие техногенные породы содержат включения металлов, остаточный углерод и требуют обогащения в несколько стадий. Зная химический состав, предлагается рассчитать для сырья коэффициент основности, который позволяет предварительно оценивать направление применения и активность породы (рис. 1), по формуле

$$K_{осн} = \frac{(CaO + 0{,}93MgO + 0{,}6R_2O) - (0{,}55Al_2O_3 + 0{,}35Fe_2O_3 + 0{,}7SO_{3)}}{0{,}93SiO_2}. \qquad (1)$$

В формуле (1) уменьшаемое в числителе показывает общее содержание щелочного компонента − «условного CaO». Вычитаемое − определяет количество CaO, связанного соответствующими оксидами. Разница между ними составляет количество оставшегося CaO, готового при определенных условиях на образование силикатов кальция, количество которых зафиксировано в знаменателе.

Далее определяется возможность применения породы как готового сырьевого материала, не требующего подшихтовки (этап 4), или подбираются активизирующие добавки, разрабатываются составы шихт (этап 5). После экспериментальной лабораторной и промышленной проверки и получения положительных результатов (этап 6) разрабатывается и утверждается технологический регламент на изготовление строительных изделий (этап 7).

Для использования исследуемых отходов в качестве заполнителя необходимо их проверить на распады (рассыпание).

Известно, что с повышением в составе сырья содержания оксида кальция (CaO), оно склонно к *известковому и силикатному распаду*. При силикатном распаде двухкальциевый силикат из неустойчивой формы ($\gamma \cdot CaO \cdot SiO_2$) переходит в стабильное состояние ($\beta \cdot 2CaO \cdot SiO_2$), что сопровождается увеличением его объема на 10%. В результате заполнитель растрескивается и рассыпается. Оценку породы на *силикатный распад* можно установить по расчету:

$$SiO_{2\,min} = \frac{100 - \sum RO}{2{,}5}\ ; \qquad CaO_{max} = \frac{100 - \sum RO}{1{,}8},$$

где $\sum$ RO – сумма всех оксидов, за исключением CaO и SiO_2, %.

Порода является стойкой к распаду, если SiO_{2min} больше $SiO_{2факт.}$, а CaO_{max} меньше $CaO_{факт.}$

Лабораторный способ проверки – на силикатный распад осуществляется пропаривание породы одной фракции.

Известковый распад характерен для отходов, содержащих повышенное количество свободного оксида кальция (CaO), при гидратации которого увеличение объема может доходить до 2,5 раз. Гидратация извести идет по реакции

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2.$$

Сульфитный распад характерен для пород содержащих сульфиты металлов (MeS), в том числе FeS, ZnS, MnS. Под влиянием влаги идет реакция

$$FeS + H_2O = Fe(OH_2) + H_2S.$$

В результате реакции идет увеличение объема на 38 %. Лабораторные исследования на металлический распад определяются путем заливания пробы одной фракции на 30 суток дистиллированной водой. Количество рассыпавшихся зерен не должно превышать одного процента от общей массы, только в этом случае можно сделать заключение о том, что сырье стойко к распаду и его можно применять как заполнитель.

Установлено, что особенно склонны к распаду сталеплавильные шлаки, поэтому их не рекомендуется применять как заполнитель. Их можно рекомендовать как компонент для клинкера и безобжигового цемента.

Отрицательно влияет на свойства изделий (воздухостойкость, морозостойкость, долговечность) наличие в сырье примесей несгоревшего угля и металлические включения. Остаточные, не выгоревшие примеси углерода в отходах (угольных, зольных) находятся в виде не прочных, ококсованных включений. Металлические примеси, находящиеся на поверхности изделий, окисляются (ржавеют) на воздухе и выкрашиваются из-за потери связи, что влияет на долговечность и потерю архитектурной выразительности строительных изделий. Поэтому сырье с такими примесями не рекомендуется для изделий наружной отделки. Необходима магнитная сепарация в несколько стадий

Расчет шихты цемента по заданному коэффициенту основности.

Для разработки бесклинкерного вяжущего предлагается применить коэффициент основности шихты (n) в пределах 1,2-1,6. Для этого просчитывается $К_{осн}$ для исследуемых компонентов по формуле (1). Выбирается два вида сырья: $К_{осн} < 1$, т.е. с недостатком извести; $К_{осн} > 1$, т.е. с некоторым избытком CaO.

Для нахождения соотношения компонентов сырье с $К_{осн} > 1$ записывается в числителе уравнения 2, а в знаменатель с $К_{осн} < 1$. Система приравнивается 1 и решается уравнение (2)

$$\frac{\left[\left(CaO + 0{,}93MgO + 0{,}6R_2O\right) - \left(n0{,}93SiO_2 + 0{,}55Al_2O_3 + 0{,}35Fe_2O_3 + 0{,}7SO_3\right)\right]x}{\left(n0{,}93SiO_2 + 0{,}55Al_2O_3 + 0{,}35Fe_2O_3 + 0{,}7SO_3\right) - \left(CaO + 0{,}93MgO + 0{,}6R_2O\right)} = 1, \quad (2)$$

где n– заданное для шихты значение $К_{осн}$; x – количество массовых частей «основного» компонента с $К_{осн} > 1$ на одну весовую часть «кислого» компонента с $К_{осн} < 1$.

На первом этапе расчета определяется количество щелочного активизатора (x) из уравнения (2) в частях далее пересчитывается в %. На втором этапе идет расчет количества сульфатного активизатора цемента [6,2], как правило, это гипсовый камень. Цементы полученные из техногенных отходов требуют повышенную тонкость помола, Sуд > 300м^2/кг. Изделия на таком вяжущем рекомендовано подвергать тепловой обработке (ТВО, автоклав). Марка полученного цемента может достигать активности до 300 кг/см^2, марка изделий: М50, М100, М150.

Выводы. Применение промышленных минеральных отходов позволяет снизить расход природных сырьевых ресурсов и одновременно будет способствовать улучшению экологии городов. Наука и практика показывают, что техногенные продукты эффективно перерабатывать на месте их образования. Необходимо первоначально осуществить их обогащение: убрать остаточные металлические и углесодержащие вещества.

Установлена эффективность разработанной модели, т.е последовательности изучения техногенных продуктов, как вторичного минерального сырья (ВМР) для стройиндустрии.

Рекомендуются методики: первичной оценки ВМР по коэффициенту основности, рассчитываемому по результатам химического анализа пород; расчет состава безобжигово цемента через коэффициент основности компонентов; исследования на распады (рассыпание) отходов с целью применения их как заполнители бетонов и растворов.

Список литературы

1. Долгарев А.В. Вторичные сырьевые ресурсы в производстве строительных материалов: Физико-химический анализ: Справ. Пособие / А.В. Долгарев – М.: Строиздат.1990. – 456 с.

2. Панов С.А. Декоративные строительные материалы из отбеленного и активированного шлака. Монография. / С.А. Панов, В.Ф. Панова. – Новокузнецк: СибГИУ, 2010. – 216 с.

3. Баженов П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология: Учеб. пособие/ П.И. Боженов – М.: Изд. АСВ, 1994. – 29 с.

4. Панова В.Ф. Строительные материалы на основе отходов промышленных предприятий Кузбасса. Учеб. пособ./В.Ф. Панова. – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – 182 с.

5. Панова В.Ф. Техногенные продукты как сырье для стройиндустрии. Монография. / В.Ф. Панова. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – 289 с.

6. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества: учеб. для вузов по спец. «Пр-во строит. изделий и конструкций»/ А.В. Волженский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.

УДК 552.57:004.94

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

к.г.-м.н. Фролов В.Н.
ООО «СПб-Гипрошахт»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассмотрены особенности трехмерного моделирования месторождений угля, а также возможности использования геологических моделей для проектирования горнодобывающих предприятий.

Ключевые слова: месторождение угля, геологическая модель, проектная документация.

Проектирование горнодобывающих предприятий предполагает рассмотрение нескольких вариантов вскрытия и подготовки месторождения полезного ископаемого с целью выбора оптимального с точки зрения интересов недропользователя и государства. Данная задача сложно формализуема и ее решение в практике проектных организаций достигается эмпирическим подбором. Для оптимизации процесса проектирования в настоящее время широко используются специализированные программные средства, которые позволяют автоматизировать выполнение части проектных задач и, таким образом, сократить время на их решение.

Работа программных средств основана на использовании трехмерных геологических моделей, которые в цифровом виде отражают геометрию и качество полезного ископаемого, горно-геологические условия его освоения.

В настоящее время обычной практикой российских геологических организаций стала разработка моделей рудных месторождений. Для угольных месторождений полноценное геологическое моделирование по-прежнему является редкостью. Одной из причин этого являются особенности геологического строения угольных месторождений. При моделировании месторождений такого типа появляется необходимость соблюдения различных типов взаимоотношений между слагающими его частями: конформности для угольных пластов, стратиграфических несогласий для перекрывающих рыхлых отложений. Модель также должна отражать сложное взаимоотношение угольных пачек, слагающих угольные пласты, которое выражается в наличии зон расщепления, слияния и выклинивания. Угольные месторождения обычно характеризуются большой степенью тектонической нарушенности, в связи с чем особое внимание следует также уделять моделированию плоскостей сместителей.

Применяемое в ООО «СПб-Гипрошахт» специализированное ПО Minescape 5.8 вместе с разработанной методикой подготовки исходных данных позволяет учитывать перечисленные выше особенности и создавать корректную геологическую основу для последующего проектирования. Готовая модель представляет собой совокупность сеточных поверхностей, описывающих гипсометрию кровли и почвы пласта и учитывающих их разрыв и смещение по плоскостям дизъюнктивных нарушений. Качество угольных пластов представлено в двух форматах – в составе стратиграфической модели и учитывает

изменение параметров качества только на плоскости, а также в формате блочной модели, что позволяет изучить изменение параметров, как на плоскости, так и в разрезе. Модель также содержит основные элементы, описывающие горно-геологические условия освоения. К ним относятся орогидрография и положение объектов на поверхности, требующих оставления охранных целиков, интервал рыхлых отложений, литологический состав и прочностные характеристики вмещающих пород, в большей степени кровли и почвы угольных пластов.

В ходе проектирования оптимизация решений достигается за счет оперативного анализа горно-геологических условий, представленных в трехмерной модели. Например, при вскрытии и подготовке месторождения наклонными стволами и уклонами система позволяет оперативно учесть такие факторы, как мощность рыхлых отложений, положение выходов угольных пластов под наносы, орогидрографию и другие. Также использование трехмерных моделей позволяет сократить время на построение вспомогательных графических приложений. Так, при заложении полевых выработок, отпадает необходимость построения разрезов. Угол выработки, гипсометрия пластов, горно-геологические условия проходки определяются на основе модели.

Вторым аспектом использования трехмерных геологических моделей является возможность обнаружить и устранить ошибки «бумажных» отчетов. Выполненные «от руки» геологические построения нередко содержат нестыковки и артефакты, связанные со сложностью для исполнителя адекватно отразить трехмерное пространство на плоскости чертежа. Например, изогипсы почвы угольного пласта предстают в виде уступов, что некорректно с точки зрения общих геологических представлений, или излишне сглажены, не отражая локальную изменчивость гипсометрии. Особенно сложным вопросом является построение тектонических нарушений. В отличие от угольных пластов, имеющих большую площадь распространения и хорошо изученных, дизъюнктивы обычно известны по ограниченному количеству скважин, либо построены на основании косвенных признаков. В результате, плоскость сместителя на чертежах отображается схематично и не корректно. Особенно это касается угольной геологии, где в силу отсутствия строго прямых разведочных линий, геологические разрезы под разным углом пересекают разрывное нарушение. Перевод исходных данных в трехмерное пространство модели облегчает поиск таких нестыковок и их увязку. В случае появления новых геологических данных, например, данных эксплуатационной разведки, использование математических интерполяторов позволяет быстро и более обоснованно скорректировать геологию месторождения.

Точность определения параметров работы горного предприятия достигается за счет детальности, с которой модель передает строение и качество полезного ископаемого. В классическом подходе блок подсчета запасов каменного угля представляет собой призму с единой мощностью пласта, рассчитанной как средняя по блоку. Параметры качества, такие как зольности угольных пачек, породных прослоев и вмещающих пород, также представлены средними величинами. Геологическая модель позволяет учесть изменчивость строения и качества угольного пласта в пределах блока. В конечном счете, это позволяет более точно определить количество и качество добываемой горной массы, рассчитать объемы проходки и засорения.

Программная связь между моделью горных выработок и календарным графиком позволяет эффективно планировать работу горного предприятия. Изменяя принятые скорости проходческих и очистных работ, последовательность строительства и отработки месторождения, возможно рассмотреть несколько сценариев развития горных работ.

Таким образом, использование интегрированной системы планирования горных работ, основанной на трехмерной геологической модели, позволяет оперативно и с достаточной точностью просчитывать несколько сценариев работы предприятия, что, в конечном счете, обеспечивает выбор оптимального решения.

УДК 622.333

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КУЗБАССА

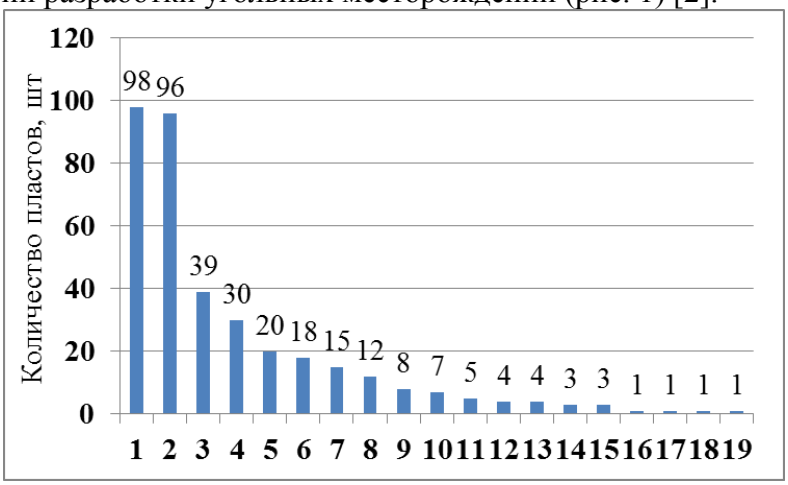
д.т.н. Федорин В.А., к.т.н. Шахматов В.Я., Борисов И.Л.
Институт угля СО РАН,
г. Кемерово, Россия

Аннотация: Проблема стоимостной оценка запасов угля является сравнительно новой, а ее решение еще недостаточно проработано как в теоретическом, так и в практическом плане, особенно с учетом технологической оценки запасов угольных месторождений. Авторы использовали традиционный подход, рекомендованный МПР России, для технологической оценки запасов мощных угольных пластов в Терсинском геолого-экономическом районе Кузбасса.

Ключевые слова: запасы угля, мощные пласты, технологическая оценка, геолого-экономический район.

На основании выполненных исследований установлено, что состояние и воспроизводство ресурсной базы в угольной промышленности Кузбасса достаточно надежны, однако для эффективного развития угледобычи и обеспечения конкурентоспособности угля на внутреннем и внешнем рынках в ближайшие годы необходима переоценка сырьевого потенциала действующих шахт и резервных участков для нового шахтного строительства. Существуют проблемы, связанные с территориальным размещением, марочным составом углей и особенно с технологической оценкой отработки мощных пластов угля в Кузбассе при применении новых технологий угледобычи [1].

Для анализа распределения мощных пластов по геолого-экономическим районам Кузбасса использована электронная база данных д.г.-м.н. Юзвицкого А.З. (ИУ СО РАН), в создании которой принимали непосредственное участие сотрудники лаборатории эффективных технологий разработки угольных месторождений (рис. 1) [2].



1 – Ленинский район; 2 – Ерунаковский район; 3 – Прокопьевско-Киселевский район; 4 – Томь-Усинский район; 5 – Бунгуро-Чумышский район; 6 – Кондомский район; 7 – Терсинский район; 8 – Центральный район; 9 – Мрасский район; 10 – Бачатский район; 11 – Кемеровский район; 12 – Салтымаковский район; 13 – Араличевский район; 14 – Плотниковский район; 15 – Байдаевский район; 16 – Завьяловский район; 17 – Крапивинский район; 18 – Беловский район; 19 – Ускатский район

Рис. 1. Распределение мощных пластов по районам Кузбасса

По количеству мощные пласты могут располагаться в нескольких районах с одним или видоизмененными названиями.

По качественным характеристикам запасы угля для подземного способа разработки разделяются на 3 группы: высокотехнологичные, технологичные и нетехнологичные (табл. 1).

Таблица 1

Распределение запасов угля для подземного способа разработки

Группа запасов по технологичности разработки	Высокотехнологичные	Технологичные	Нетехнологичные
Угол падения, град	Менее 18	19-35	Более 35
Мощность пластов, м	2,0-7,0	1,2-2,0 Более 7,0	Менее 1,2
Разрывная нарушенность, км/км^2	Менее 2,0	2,0-5,0	Более 5,0
Опасность пласта по внезапным выбросам угля и газа	Неопасный	С прогнозом выбросоопасности	Любая

Из общего резерва выделяются, с одной стороны, категории наиболее рентабельных, или технологичных запасов и, с другой – категории нерентабельных, или нетехнологичных, запасов [3].

Повышение планки группы высокотехнологичных запасов по мощности пластов до 7 метров, а в отдельных случаях до 8,4 метра (в один слой) связано с новым очистным оборудованием в длинном забое (Eickhoff SL 1000) с месячной производительностью до 1 млн. т угля. В практике угледобычи пласты мощностью более 3,5 м (для подземного способа) и более 4,5 м (для открытого) считаются мощными.

Приведенный выше качественный анализ запасов угля по технологичности разработки показывает, что технологическая оценка угля, находящегося в недрах, является сложной и многоплановой задачей, требующей нестандартных решений, связанных с методологией оценки месторождений полезных ископаемых. Главными причинами такого состояния являются постоянно меняющаяся экономическая среда и особенности национального недропользования.

Научный подход к геолого-экономической оценке угольных месторождений начал формироваться в 70-годы прошлого века благодаря усилиям ак. Акошкова М.И. (ИПКОН РАН), ак. Малышева Ю.Н. (АГН), д.т.н. Стрекачинского Г.А. (ИГД СО РАН), д.э.н. Краснянского Г.Л. (WMC-ROC), д.т.н. Зайденварга В.Е., д.т.н. Ковальчука А.Б. (ИНКРУ) и продолжается в Институте угля СО РАН на основе мировых стандартов стоимостной оценки участков недр. Технологическая стоимость (technical value) определяется по результатам технологической оценки запасов угля по качественному составу (маркам) угля, горнотехнологическим системам разработки и, по возможности, освобождены от конъюнктурных и других показателей. Этот подход реализован в международном стандарте VALMIN, который разработан Австралийским институтом горного дела и металлургии (AusIMM) и рекомендован МПР России в «Методических рекомендациях по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых. Угли и горючие сланцы» [4].

Для первоначальной оценки денежного потока (ДП), или Cash Flow (CF) по прибыли, использована формула

$$П_{ДП} = \mathbf{S}(Ц_t – З_t)/(1 + E)^t ,$$

где $Ц_t$ – стоимость реализованной продукции соответствующей марки в t-м году с учетом обогащения; $З_t$ – полные затраты (включая налоги) с учетом способа разработки (открытый, подземный или комбинированный) в t-м году, руб.; E – ставка дисконтирования (норма дисконта времени), доли ед.

При расчете денежного потока приведение разновременных затрат и доходов к начальному периоду оценки осуществляется с использованием процедуры дисконтирования. Коэффициент дисконтирования $g_т$ определяется по формуле

$$g_т = 1/(1+E)^т,$$

где т – номер расчетного года.

Для расчета современной стоимости будущих денежных потоков, в случае если они равны для каждого года эксплуатации объекта, вместо коэффициента дисконтирования можно использовать так называемый коэффициент ежегодной ренты bт (коэффициент аннуитета), рассчитанный по формуле

$$b_т = (g^т-1)/g^т(g-1),$$

где g=(1+E); т – срок эксплуатации объекта.

Однако предлагается использовать более адекватный по времени среднеинтегральный коэффициент обесценивания j-го участка [5], учитывающий не только срок эксплуатации (Т), но и время начала эксплуатации шахты или угольного разреза (T^H) и его окончания (T^K)

$$\beta_j = (T_j^K - T_j^H + 1)^{-1} \cdot \sum_{t=T_j^H}^{T_j^K} (1 + E_{н.п.})^{-t}, \quad j \in P.$$

Из-за сложности документального обоснования ставки дисконтирования $E_{н.п.}$ обычно принимается равной 0,1 - 0,15, а при обосновании эксплуатационных кондиций расчеты осуществляются, как правило, без дисконтирования или в соответствии с условиями кредитования [4].

Под технологической стоимостью понимается стоимость будущих доходов от эксплуатации угольных месторождений, рассчитанная без учета изменения стоимости денежных потоков во времени и освобожденная от иных составляющих (премия за риски, прогноз цен на уголь и составляющие материальных затрат, налоги и прочие обязательные платежи). Технологическая стоимость определяется по результатам технологической оценки запасов угля (технико-экономическое обоснование кондиций), которая представляет исходную информацию (прогноз капитальных вложений и операционных затрат) для стоимостной оценки запасов угля. Технологическая стоимость (technical value) и формирующие ее факторы связаны преимущественно с качеством угля, горно-геологическими условиями месторождения и применяемой технологией добычи и обогащения угля и, насколько это возможно, освобождены от конъюнктурных и других показателей.

Первоначальная исходная информация по группам технологичности запасов угля разбивается на участки по площади (углеплотность), которая выражается в количестве запасов угля, заключенных в угленосной формации (свите, горизонте) по мощности (от 3,5м и более) и маркам угля, на единицу площади (км^2) ее общего распространения или в принятых границах технологической оценки [6].

На рис. 2 представлено распределение удельной по площади ценности запасов Терсинского ГЭР ($П_н$ в координатах *x,y*), где выделяются две области (юго-западная и восточная) с максимальными значениями удельной ценности запасов угля по мощности пластов и марочному составу в геологических участках (табл. 2).

Проблема стоимостной оценка запасов угля является сравнительно новой, а ее решение еще недостаточно проработано как в теоретическом, так и в практическом плане, особенно с учетом технологической оценки. Так относительная погрешность оценки извлекаемых запасов угля даже для простых в геологическом плане и хорошо разведанных месторождений составляет не менее 20%, а в большинстве типичных случаев она значительно выше. Схемы разработки месторождений могут быть весьма разнообразны, а расчетные показатели производительности существенно отличаться от реальных значений.

Определить стоимость конкретного месторождения можно лишь путем имитационного моделирования всего процесса разведки, разработки, обустройства месторожде-

ния, добычи и реализации продукции (включая процесс обогащения). При этом должны быть обоснованы геологические, технологические, экологические, экономические и другие показатели, характеризующие этот процесс с учетом оценки устойчивости и обоснованности принимаемых решений.

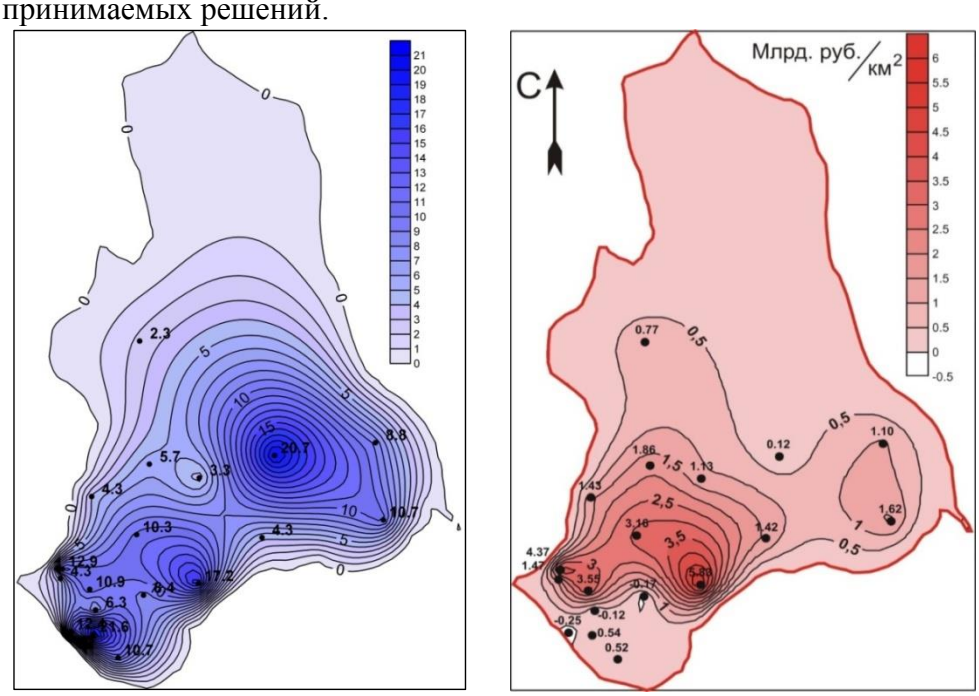


Рис. 2. Распределение углеплотности (слева) и удельной технологической ценности запасов угля (справа) Терсинского ГЭР

Таблица 2

Мощные (≥3,5 м) пласты Терсинского геолого-экономического района

№	Название или индекс угольного пласта	Мощность угольных пачек пласта, м	Марка угля	Участок
1	XII	6,80	А	Макарьевское месторождение
2	XIII	5,60	А	Макарьевское месторождение
3	XVI	3,60	А	Макарьевское месторождение
4	78 нп	4,00	Г	Уч. Увальные 1-4 и Увальный Юж.
5	19	5,60	ГЖО	Участок Терсинский 2
6	18	3,60	ГЖО	Участок Терсинский 2
7	19	5,40	ГЖО	Участок Терсинский 1
8	78 нп	3,60	Г	Участок Кушеяковский V-VII
9	76	4,70	Г	Участок Кушеяковский V-VII
10	73	7,10	Г	Участок Кушеяковский V-VII
11	70	4,20	ГЖО	Участок Кушеяковский V-VII
12	69	3,50	Г	Участок Кушеяковский V-VII
13	67	6,60	Г	Участок Кушеяковский V-VII
14	58б-58а	3,60	ГЖО	Участок Кушеяковский V-VII
15	78 нп	3,60	ДГ	Участок Кушеяковский VIII-IX
16	69	3,80	Г	Участок Кушеяковский VIII-IX
17	67	5,20	Г	Участок Кушеяковский VIII-IX
18	64	3,90	Г	Участок Кушеяковский VIII-IX

19	76	3,60	Г	р. "Ерунаковский",уч.Кушеяковский
20	73	4,70	Г	р. "Ерунаковский",уч.Кушеяковский
21	70	3,90	Г	р. "Ерунаковский",уч.Кушеяковский
22	67-68	7,80	Г	р. "Ерунаковский",уч.Кушеяковский
23	66	3,60	Г	р. "Ерунаковский",уч.Кушеяковский

Однако, с практической точки зрения, имея характеристики распределения углеплотности и удельной технологической ценности запасов угля (рис. 2), возможно решение задач по предварительной оценке запасов в общешахтных охранных целиках при размещении основных вскрывающих выработок и транспортных коммуникаций. Так, например, определив площадь (км^2) охранного целика под центральной промышленной площадкой с учетом углов сдвижения, формирующих границу зоны опасного влияния горных работ, можно оперативно оценить не только количество консервируемых запасов угля (тыс.т), но и ценность консервируемых запасов (млн. руб). Это относится уже к разделам горных наук по методам доступа к георесурсам.

Список литературы

1. Шахматов В.Я. Исследование минерально-сырьевой базы высокотехнологичных запасов угольных месторождений Кузбасса./ ГИАБ ОВ №6 ИУ СО РАН, М.: изд.-во «Горная книга», 2013. –С. 56-63.

2. Угольные ресурсы Сибири и их рациональное использование. /А.З. Юзвицкий, В.М. Станкус, С.В. Шаклеин и др.// Минеральные ресурсы России: экономика и управление. – 1999. – № 3.– С. 11-20.

3. Уголь в экономике России /Г.Л. Краснянский, В.Е. Зайденварг, А.Б. Ковальчук, А.И. Скрыль; под общ. ред. Г.Л. Краснянского. –М.: Экономика, 2010. – 383 с.

4. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых. Угли и горючие сланцы./ М.: Министерство природных ресурсов РФ. -№ 37-р от 05.06.2007 г. – 49 с.

5. Стрекачинский Г.А. Теория и численные модели вскрытия месторождений. – Новосибирск: Наука, 1983. – 238 с.

6. Клишин В.И., Федорин В.А.. Борисов И.Л. Перспективы освоения Терсинского геолого-экономического района Кузбасса./ Перспективы инновационного развития регионов России: Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции . – Прокопьекск: изд-во КузГТУ в г. Прокопьевске, 2014. –С. 136-140.

УДК 622.223.4

РАЗМЕЩЕНИЕ ГЛАВНЫХ ВСКРЫВАЮЩИХ ВЫРАБОТОК ШАХТЫ «УВАЛЬНАЯ» ТЕРСИНСКОГО ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЙОНА КУЗБАССА С УЧЕТОМ МИНИМИЗАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК

Татаринова О.А.
Институт угля СО РАН,
г. Кемерово, Россия

Аннотация: Размещение главных выработок происходит с учетом очередности освоения участков данного месторождения, экологической составляющей на природу, особенностей рельефа данного района, характера залегания пластов, минимизации подземных и поверхностных грузоперевозок. Подземные грузоперевозки рассматриваются в качестве основного фактора, фор-

мирующего в модульном шахтоучастке транспортную характеристику угледобывающего комплекса.

Ключевые слова: месторождение, промплощадка, шахтное поле, транспорт, грузоперевозки, инфраструктура

Грузоперевозки в горной науке традиционно рассматривается как основная часть более широкой проблемы доступа к георесурсам и выбора оптимального вскрытия шахтного поля. Отсюда и появилась задача определения местоположения грузоподъемного ствола и транспортных коммуникаций с учетом более широкого круга влияющих факторов. По сравнению с традиционной технологией вскрытия шахтного поля, вскрытие угольного пласта с делением его на модульные шахтоучастки усиливает влияние фактора примыкания участков к наземной инфраструктуре. Таким образом, исследования, направленные на совершенствование методов комплексного обоснования геотехнологических решений при проектировании высокопроизводительных шахт являются актуальной научной задачей.

Интенсивное освоение угольных месторождений невозможно без соответствующей транспортной инфраструктуры, рационального размещения технологических объектов как в недрах, так и на поверхности, выделения первоочередных участков освоения угольных месторождений [1, 2].

Объектом исследования является Терсинский геолого-экономический район Кузнецкого угольного бассейна. В настоящее время юго-западная часть района (Кушеяковское месторождение) хорошо разведана и начала интенсивно осваиваться. Дальнейшее расширение сырьевой базы угледобычи возможно за счет Увального (в первую очередь) и Терсинского месторождений [3].

Строительство угледобывающего комплекса (УДК) "Увальный" предлагается на запасах геологических участков Увального 1-4 и Увального-Южного, которые располагаются в Терсинском геолого-экономическом районе Кузбасса.

Главным вопросом при вскрытии угольных месторождений является выбор места заложения стволов шахт – как главного, так и вспомогательных. От расположения стволов зависит величина эксплуатационных расходов по транспорту полезных ископаемых, пустых пород, материалов и пр. Для получения наиболее экономичных решений влияние всех факторов должно учитываться совместно. Главные вскрывающие выработки могут занимать различное положение по отношению к вскрываемому пласту и элементам его залегания.

Подземные грузоперевозки рассматриваются в качестве основного фактора формирующего в модульном шахтоучастке транспортную характеристику угледобывающего комплекса. Для описания подземных грузоперевозок используется интеграл Стилтьеса. Таким образом, аналитическое уравнение грузоперевозок для неравномерной угленасыщенности вдоль магистрали (на отрезке [а, в]) в точку своза x выглядит следующим образом [4]

$$W(x) = Q_0(b-x) + \int_a^x Q(x)dx - \int_x^b Q(x)dx,$$

где Q_0 - полный вес грузов на отрезке [а, в]; $Q(x)$ - интегральная неубывающая («погонная» - по Л.Д. Шевякову) функция грузов

$$Q(x) = \int_a^x f(x)dx; \quad Q(a) = 0; \quad Q(b) = Q_0. \ ,$$

где $f(x)$ - функция распределения груза, тыс.т/км; Q_0 - общее количество груза, тыс.т.

Наиболее общее представление о транспортной характеристике дает поверхность грузоперевозок W(x) в точку своза (x) на плоскости угольного пласта по простиранию для равномерной угленасыщенности

$$W(x) = \frac{Q}{2S}(2x^2 - 2Sx + S^2).$$

где Q - промышленные запасы полезного ископаемого, тыс.т; S - размер пласта по простиранию, км.

Получена транспортно-технологическая характеристика на пластах 66, 67, 73, 78н.п. первоочередного участка Увальный 1-4 и участка Увальный Южный Терсинского геолого-экономического района. Из рис. 1 видно, что в данных условиях оптимальным является равнокрылое поле, при котором достигается минимальная «работа» транспорта, и в случае однокрылого поля эта «работа» будет вдвое больше по подземным грузоперевозкам. При отступлении от точки минимума потери в работе транспорта будут обязательно. Изменение величины «работы» по всей длине поля характеризуется кривой на рис. 1:

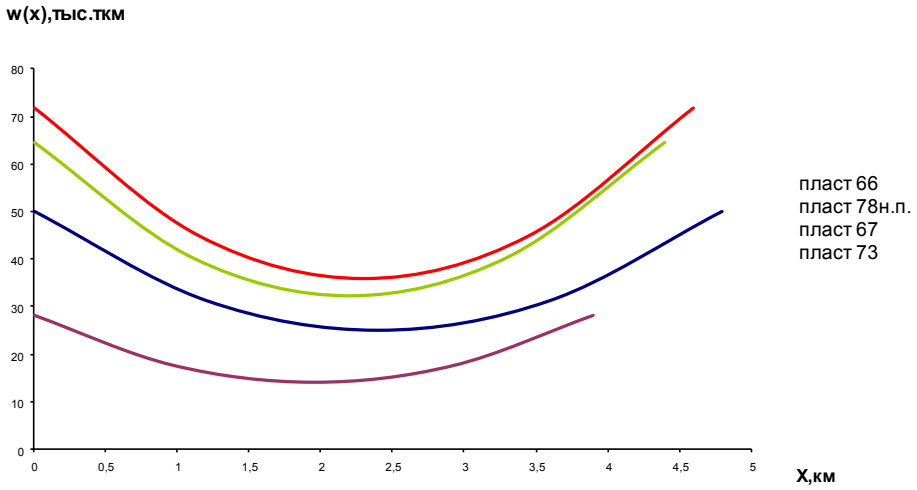


Рис. 1. Характеристика подземных грузоперевозок (тыс.т.км) в зависимости от местоположения наклонных стволов по пластам 66, 67, 73, 78 н.п. (участок Увальный 1-4, Увальный Южный)

Схема размещения вскрывающих выработок пласта 78 н.п. участка Увальный Южный приведена на рис. 2.

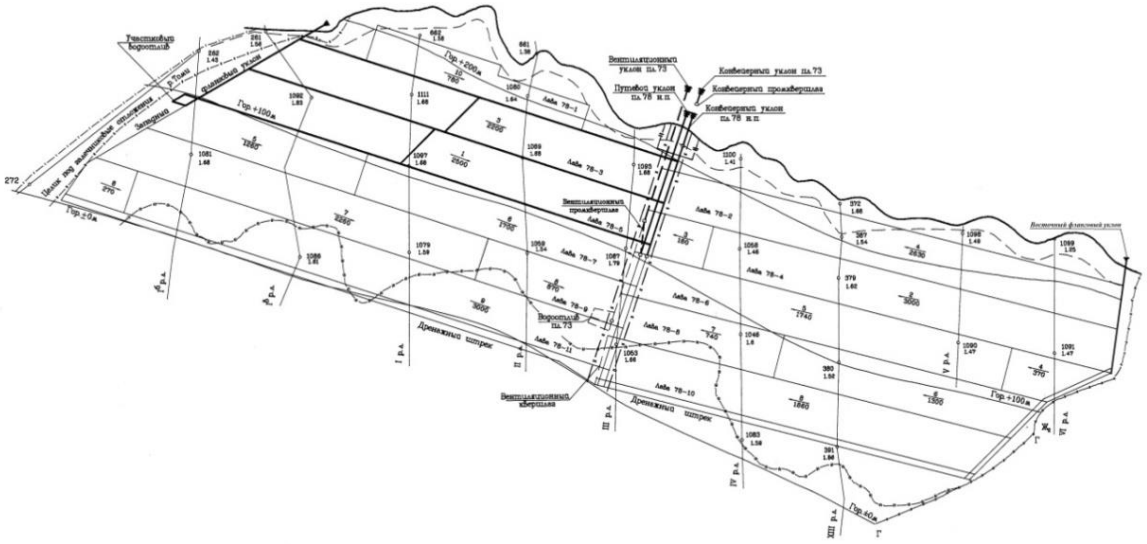


Рис. 2. Схема размещения вскрывающих выработок пласта 78 н.п. участка Увальный Южный (предложение Кузбассгипрошахт)

Просуммировав наземные и подземные грузоперевозки, получены графики, представленные на рис. 3. В этом случае целевая функция (с дополнениями) будет иметь вид

$$F(x) = \frac{Q}{2S}(2x^2 - 2Sx + S^2) + Qx.$$

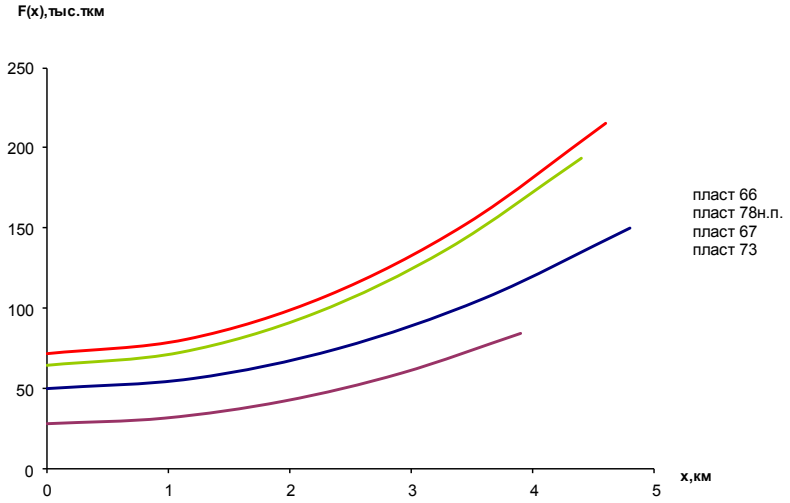


Рис. 3. Суммарная характеристика (подземные и поверхностные грузоперевозки) размещения наклонного ствола шахты (Участок Увальный 1-4, Увальный Южный)

В результате была получена транспортно-технологическая характеристика подземных грузоперевозок по пластам 66, 78н.п., 67, 73. Наиболее приемлемым местом заложения промышленной площадки является область, где показатели являются наименьшими.С учетом подземных и наземных грузоперевозок, как видно из рис. 4 этой областью является левый фланг шахтного поля, следовательно, промышленную площадку следует закладывать в этой точке. В этом случае все затраты по работе транспорта будут минимальными. Минимизация функции по простиранию пласта (с транспортом на поверхности) двукрылое шахтное поле превращается в модульный шахтоучасток с односторонней схемой вскрытия [5].

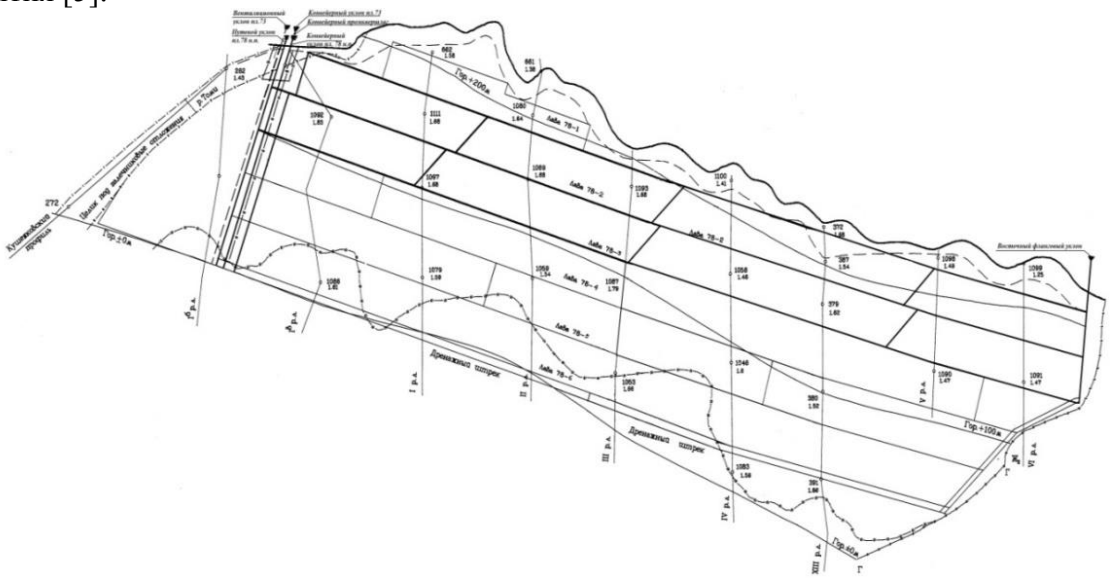


Рис. 4. Схема размещения вскрывающих выработок пласта 78 н.п. участка Увальный Южный (предложение ИУ СО РАН)

Схема на рис. 4 позволяет вдвое увеличить длину выемочного столба без перемонтажа угледобывающего комплекса (по сравнению с центральным расположением грузового ствола) и снизить грузоперевозки подземным и поверхностным транспортом на 25%.

Для полного обоснования оптимальных решений по размещению технологических объектов, как на поверхности, так и в недрах в работе использованы программа Microsoft Excel и система Auto CAD для проектирования планировки угольного пласта (рис. 4).

Предварительное освоение Терсинского ГЭР рекомендовано начать с участка Увальный Южный. Учитывая все факторы (поверхностные и подземные грузоперевозки) выбирается схема вскрытия, при которой любые затраты по работе транспорта будут минимальными [6].

Данные горно-геологические условия позволяют применить структуру модульного шахтоучастока для отработки пласта 78 н.п. участка Увальный Южный, с использованием современной высокопроизводительной техники угледобычи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-05-98030 р_сибирь_а

Список литературы

1. Основы концепции оценки предельных объемов добычи угля открытым и подземным способами в Кузбассе / В.И. Клишин, А.А. Ордин, В.И. Ческидов, В.А. Федорин // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Издательство «Горная книга». – 2009. – №ОВ7. – С. 47 – 52.

2. Татаринова, О.А. Принципы транспортной логистики в эффективном освоении угольных месторождений / О.А.Татаринова // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Издательство «Горная книга». – 2013. – №ОВ6. – С. 122 – 127.

3. Станкус, В.М. Состояние и перспективы освоения Терсинского геолого-экономического района Кузбасса / Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова // М.: Уголь. – 2006. – №11. – С. 37 – 40.

4. Стрекачинский, Г.А. Теория и численные модели вскрытия месторождений / Г.А. Стрекачинский. – Новосибирск: Наука СО., 1983. – 237с.

5. Ялевский, В.Д. Модульные горнотехнологические структуры вскрытия и подготовки, шахтных полей Кузбасса (Теория. Опыт. Проекты.) / В.Д. Ялевский, В.А. Федорин. – Кемерово., 2000. – 210с.

6. Федорин В.А., Татаринова, О.А. Оптимальное расположение коммуникационного коридора с учетом очередности освоения геологических участков и схем вскрытия угольных пластов / О.А. Татаринова // Вестн.КузГТУ. – Кемерово. – 2014. - №4. – С. 49 – 53.

УДК 622.882:628.33

НОВЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

д.т.н. Зеньков И.В.
Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука»,
Красноярский научный центр СО РАН,
г. Красноярск, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты эколого-экономического обоснования разработанных технологий горнотехнической рекультивации нарушенных открытыми горными работами земель с учетом геоэкологических целей и интересов бизнеса.

Ключевые слова: угольные разрезы, породные отвалы, рекультивация земель, экономика рекультивации, горнотехническая рекультивация земель, инновационные технологии рекультивации

Добыча угля открытым способом в угледобывающих регионах Сибири сопровождается перемещением вскрышных пород (отходы 5 класса опасности) объемом примерно 1,0 млрд. $м^3$ в год при углубочных и однобортовых системах разработки в Кузбассе и примерно 45-50 млн. $м^3$ в Красноярском крае и Иркутской области. Под горные отводы и отвалы вскрышных пород отчуждаются значительные площади, и чаще всего продуктивные земли сельскохозяйственного назначения.

Современное состояние отвалов вскрышных пород, сформированных при добыче угля открытым способом, характеризуется весьма низкими экологическими показателями. Содержание гумуса в рекультивированных землях отвалов (3-4 %) снижается в разы в сравнении с изъятыми угодьями (8-12 %). Поверхности всех отвалов без исключения представляют собой мелкую складку в виде бесконечной гофры, и поэтому для прохода сельхозтехники они не пригодны. В случае их планировки на поверхности рекультивированного отвала неизменно появится пестрота, представляющая собой чередование участков без почвенного слоя и участков с увеличенной мощностью почвенного слоя. Бессистемная хаотичная укладка горной массы в тело отвала с верхних и нижних уступов угольного разреза, а в особенности в последнем случае в разы снижает продуктивность земель рекультивируемых отвалов в сравнении с продуктивностью природных ландшафтов. Существующие на сегодняшний день ГОСТы, методики проектирования рекультивации на практике привели к парадоксальной ситуации – «экологически приемлемая рекультивация» за счет средств угольных разрезов не достигается, т.е. чем больше средств на рекультивацию направляет угольный разрез, тем хуже экологические показатели рекультивированных породных отвалов.

Снизить одновременно затраты угледобывающего предприятия на рекультивацию и получить экологический выигрыш позволит внедрение технологий горнотехнической рекультивации земель, разработанных и обоснованных в СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН (г. Красноярск). При разработке технологий исходили из следующих соображений: снизить затратную часть на рекультивацию земель (интересы угольного бизнеса), сократить потери почвенного слоя до нуля (существующие технологии и системы разработки угольных месторождений обусловливают потери ПСП на уровне 80 % и более), повысить продуктивность горнопромышленных ландшафтов, значительно улучшить экологические показатели рекультивируемых отвалов (экологические цели).

Технологии горнотехнической рекультивации, полностью отвечающие вышеперечисленным интересам и целям, разработаны без привлечения бюджетных и иных средств для угольных разрезов Красноярского края, и при необходимости могут быть адаптированы к разрезам Кузбасса, Иркутской области и Дальнего Востока с учетом местных природно-климатических и почвенно-географических особенностей.

Технологические аспекты новых технологий рекультивации земель кратко изложены в журналах «Уголь» и «Экология и промышленность России» в 2012-2014 гг. В статье представлены результаты расчетов экономической эффективности при внедрении новых технологий горнотехнической рекультивации земель. Для угольного разреза «Бородинский» экономическая эффективность рассчитана исходя из сложившихся направлений горнотехнической рекультивации земель, объемов работ горнотехнического этапа и технико-экономических показателей, достигнутых при выполнении работ по рекультивации земель в производственных условиях (табл. 1).

Внедрение инновационных технологий на угольном разрезе «Переясловский» приведет к снижению затрат на проведение горнотехнического этапа рекультивации в размере 87,5 млн. руб. за период с 2011 по 2020 гг.

Таблица 1

Показатели сравнительной экономической эффективности вариантов рекультивации нарушенных земель для разреза «Бородинский»

Показатели	Проектный вариант	Внедрение результатов НИР
Площадь земель, га	874	874
Мощность снятия ПСП, м	0,35	0,48
Затраты на:		
- снятие ПСП, тыс. руб.	36283	49754
- вскрышные работы, тыс. руб.	4716470	4894400
- погрузку и вывозку ПСП на склады хранения, тыс. руб.	48168	-
- погрузку и вывозку ПСП из складов хранения на отвалы, тыс. руб.	215682	-
- погрузку ПСП на отвале и вывозку его до мест нанесения, тыс. руб.	48168	-
- планировки ПСП, тыс. руб.	31170	-
Биологический этап, тыс. руб.	34960	-
ИТОГО затрат	5130901	4944115

Внедрение результатов на угольном разрезе «Бородинский» приведет к снижению затрат на проведение рекультивации земель в размере 186,7 млн. руб. за период с 2011 по 2030 гг. в ценах 2013 года. Для угольного разреза «Переясловский» (ОАО «Красноярскрайуголь») показатели экономической эффективности представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели сравнительной экономической эффективности вариантов рекультивации нарушенных земель для разреза «Переясловский»

Показатели	Проектный вариант	Внедрение результатов НИР
Площадь земель, га	419,2	419,2
Мощность снятия ПСП, м	0,4	0,4
Затраты на:		
- снятие ПСП, тыс. руб.	12217,1	12217,1
- погрузку и вывозку ПСП на склады хранения, тыс. руб.	68656,6	-
- погрузку и вывозку ПСП для рекультивации, тыс. руб.	68656,6	68656,6
- планировку ПСП (почвенного слоя), тыс. руб.	2163,0	-
Биологический этап, тыс. руб.	16768	-
ИТОГО затрат	168461,3	80873,7

На рис. 1 представлены результаты расчетов по трем угледобывающим компаниям «Кузбассразрезуголь», «СУЭК Красноярск», «Востсибуголь» . Верхний график отражает изменение затрат на рекультивацию земель при существующих технологиях, а нижний – затраты при внедрении разработанных технологий. Ежегодное снижение планируется на уровне 400,0 млн. руб. при существенном улучшении экологической обстановки в районах формирования породных отвалов.

Производство работ на горнотехническом этапе рекультивации по новым технологиям обеспечит высокое содержание гумуса в структуре почвенного слоя, сформированного для нанесения на поверхность отвалов мощностью 1,8-2,0 м, что обусловливает высокую продуктивность рекультивированных земель.

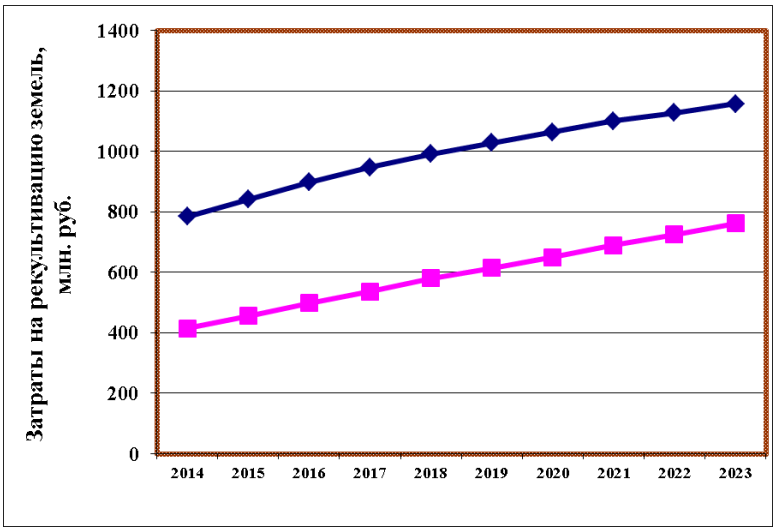


Рис. 1. Суммарные затраты на рекультивацию земель («Кузбассразрезуголь», «СУЭК Красноярск», «Востсибуголь»)

Отвалы вскрышных пород, обладающие высокой продуктивностью земель на уровне 80-100 ц/га, обеспечат вынос минеральной пыли с их поверхности в ветреную погоду в 3-4 раза меньше в отличие от отвалов с продуктивностью 50-60 ц/га, которые до сих пор были рекультивированы по технологиям, предусматривающим селективное снятие и нанесение почвенного слоя (технологии по ГОСТ).

УДК 338.5: 622

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАТРАТ НА ПРОСТОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

к.т.н. Нифонтов А.И., д.э.н. Кушнеров Ю.П., к.э.н. Черникова О.П.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются особенности формирования затрат на простое воспроизводство производственных мощностей угледобывающих предприятий в современных условиях, включающих суммарные затраты на добычу и реализацию угольной продукции, решение социальных вопросов, затраты на поддержание действующих производственных мощностей

Ключевые слова: управление затратами, элементы управления затратами, простое воспроизводство, эффективность, предельные затраты, порог рентабельности, угледобывающее предприятие

Управление затратами – это умение минимизировать используемые в процессе производства ресурсы и максимизировать отдачу от них. Необходимо иметь ввиду, что при сокращении затрат возможно увеличение прибыли на данную сумму, а чтобы получить такой прирост прибыли за счет увеличения объема продаж, нередко требуется дополнительное финансирование производства. При этом необходимо учитывать наличие спроса на дополнительную продукцию на рынке.

Управление затратами является средством достижения угледобывающими предприятиями высоких экономических результатов. Оно распространяется на все элементы управления, так как включает наряду с производственными и экономическими (финансо-

выми) итогами, достижения в области технического и социального развития. При этом соизмерение затрат и результатов позволяет оценить эффективность работы предприятий [1].

Таким образом, управление затратами – синтетическая область знаний, объединяющая различные аспекты работы угледобывающих предприятий, выявляющая их взаимосвязь и влияние на конечный результат – прибыль.

Процесс управления затратами на производство и реализацию продукции носит комплексный характер и предусматривает решение вопросов формирования издержек на простое воспроизводство производственных мощностей, установление цен на продукцию, определение уровня рентабельности, выявление и практическое использование резервов экономии затрат и снижения себестоимости, осуществление контроля за состоянием и характером изменений фактической себестоимости и величины затрат по сравнению с плановыми показателями [2].

Основными элементами управления затратами на простое воспроизводство производственных мощностей и себестоимостью добычи являются: планирование и нормирование затрат, организация их учета; калькулирование себестоимости производства и реализации; анализ; контроль и регулирование деятельности по ходу ее осуществления.

В угольной промышленности традиционно принята поэлементная группировка затрат по предприятию в целом. В настоящее время, когда практически завершен процесс приватизации и акционирования государственной собственности, следует детально изучать возможности минимизации затрат, особенно по вспомогательным и обслуживающим подразделениям угольных шахт и общешахтным расходам, доля которых в общих затратах составляет по большинству предприятий более 50 %. Для решения данного вопроса необходимо предусмотреть по каждому угледобывающему предприятию интеграцию производственных и функциональных подразделений шахты по технологическим процессам и расходам: очистные работы; подготовительные работы; прочие подземные работы; работы на поверхности шахт; подразделения, образующие общешахтные и внепроизводственные расходы.

Интеграция предусматривает дифференциацию затрат на добычу и реализацию продукции при планировании и учете по указанным выше процессам, расходам, структурным подразделениям, экономическим элементам с выделением переменных и постоянных расходов. В количественном и стоимостном выражении содержание отдельных элементов по технологическим процессам, расходам, структурным подразделениям определяется по существующему порядку в соответствии с федеральными, отраслевыми директивными положениями и нормативными документами, разработанными менеджерами угольных компаний.

Кроме себестоимости добычи и реализации угольной продукции, планируются затраты на решение социальных вопросов и поддержание действующих производственных мощностей. Перечень данных затрат индивидуален для каждого угледобывающего предприятия и включает в себя примерно следующие расходы:

- содержание соцкультобъектов;
- выплаты социального характера;
- выполнение работ капитального характера;
- приобретение оборудования для поддержания действующих производственных мощностей, в том числе за счет амортизации основных фондов;
- модернизация действующей активной части основных фондов;
- платежи по контрактам (лизинг, договоры по рассрочке платежей);
- другие.

Суммарные затраты на добычу и реализацию угольной продукции, решение социальных вопросов, затраты на поддержание действующих производственных мощностей составляют затраты на простое воспроизводство.

Сводные плановые затраты, включаемые в себестоимость добычи и реализации угольной продукции по участкам и цехам с выделением постоянных расходов по угледобывающим предприятиям заполняются по специально разработанной форме. Сумма постоянных затрат и ставка переменных затрат по шахтам должны ежеквартально разрабатываться с разбивкой по месяцам и относиться на технологические процессы, общешахтные и внепроизводственные расходы угледобывающих предприятий.

На основании утвержденных сумм постоянных затрат и ставки переменных затрат утверждаются предельные затраты на плановую добычу и реализацию угольной продукции. В зависимости от изменения объемов добычи угля по угледобывающим предприятиям, технологическим процессам, структурным подразделениям их образующим, вычисляются общешахтные и внепроизводственные расходы по формуле

$$TC_{\text{преді}} = FC_i + v_i \cdot Q_i, \quad (1)$$

где $TC_{\text{преді}}$ - предельные затраты на добычу и реализацию угольной продукции по угледобывающему предприятию, технологическому процессу, структурному подразделению, общешахтным и внепроизводственным расходам, руб.; FC_i - сумма постоянных затрат по угледобывающему предприятию и его структурам, руб.; v_i - ставка переменных затрат по угледобывающему предприятию и его структурам, руб.; Q_i - объем добычи (реализации) угольной продукции, т.

Необходимым элементом управления является анализ затрат на производство по технологическим процессам, структурным подразделениям для оценки их величины в период планирования или за отчетный период для установления уровня собственных источников для покрытия необходимых расходов на простое воспроизводство.

В процессе анализа:

- изучается величина совокупных затрат в отчетном периоде по сравнению с плановым, в динамике и с темпами изменения объема добычи и реализации угольной продукции;
- оценивается структура затрат, удельный вес каждого элемента в общем составе затрат;
- оценивается структура затрат по технологическим процессам, структурным подразделениям в разрезе экономических элементов;
- исследуются постоянные и переменные затраты, устанавливаются пороги рентабельности в целом по угледобывающему предприятию;
- изучаются показатели маржинальной прибыли, запаса финансовой прочности и операционного рычага.

Особое внимание необходимо уделить анализу порога рентабельности [3]. При этом, необходимо уточнить какое воздействие на прибыль имели бы снижение цены и реализация большего количества угольной продукции, какой объем реализации требуется для покрытия дополнительных издержек в связи с выполнением монтажно-демонтажных работ и вновь вводимым и отработанным очистными забоями.

Цель анализа порога рентабельности – установить, что произойдет с финансовыми результатами, если определенный уровень производства изменится.

Эта информация имеет большое значение, так как одной из важных переменных, влияющих на объем реализации, совокупные издержки и прибыль, является объем добычи (реализации) угля.

Порог рентабельности в натуральном и стоимостном выражении рассчитывается по формулам:

$$S_c = \frac{FC_i}{p_i - v_i}, \quad (2)$$

$$S'_c = \frac{FC_i \cdot p_i}{p_i - v_i}, \quad (3)$$

где S_c - порог рентабельности в натуральном выражении, т; S'_c - порог рентабельности в стоимостном выражении, руб. p_i - цена реализации 1 т угольной продукции, руб./т.

Далее рассчитывается маржинальная прибыль (вклад на покрытие постоянных затрат и формирование прибыли) по месяцам квартала

$$C_i = S_i - VC_i, \quad (4)$$

где C_i - маржинальная прибыль, руб.; S_i - выручка от реализации продукции, руб.; VC_i - переменные затраты на добычу и реализацию продукции, руб.

Если объем производства и реализации больше порога рентабельности, объем маржинальной прибыли больше суммы постоянных затрат – предприятие имеет прибыль. Если объем производства и реализации меньше порога рентабельности, маржинальной прибыли не хватает для покрытия всех постоянных затрат и предприятие убыточно [4].

Доля маржинальной прибыли в выручке характеризуется коэффициентом валовой маржи (коэффициентом выручки)

$$k_{ci} = \frac{C_i}{S_i}. \quad (5)$$

Высокий коэффициент выручки свидетельствует о высокой чувствительности прибыли к колебаниям объема производства.

Другим показателем, характеризующим деятельность предприятия, является запас финансовой прочности

$$S_{fs} = S_i - S'_c, \quad (6)$$

где S_{fs} - запас финансовой прочности, руб.

В современных условиях покрытия всех затрат на простое воспроизводство за счет собственных источников, запас финансовой прочности характеризует возможности функционирования предприятия.

Прибыль можно рассчитать по формулам:

$$GI_i = Q_i \cdot p_i - (FC_i + Q_i \cdot v_i); \quad (7)$$

$$GI_i = S'_{ci} \cdot k_{ci}. \quad (8)$$

В случае, если расчетный размер прибыли не обеспечивает потребностей на покрытие расходов на простое воспроизводство применяется следующий порядок определения источников возмещения этого недостатка.

1. Устанавливается недостаток источника возмещения затрат на простое воспроизводство (себестоимость, амортизация основных фондов, прибыль).

2. Определяются направления (снижение постоянных затрат, снижение ставки переменных затрат, увеличение объемов реализации угольной продукции за счет роста добычи угля, улучшение качества, улучшение структуры продаж, обеспечивающих рост прибыли и т.д.), используя которые можно установить реальные резервы предприятия по возмещению затрат на простое воспроизводство.

Список литературы

1. Нифонтов А.И. Бюджетное планирование на шахтах угольной компании: учебное пособие / А.И. Нифонтов. – М.: Издательство Альфа-М, 2007. – 168 с.

2. Нифонтов А.И. Оптимизация затрат с использованием метода Strategic cost management / А.И. Нифонтов, О.П. Черникова // Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: сборник трудов под общей ред. В.Н. Фрянова. Новокузнецк, 2008. С.188-191.

3. Нифонтов А.И. Алгоритм многоуровневой оценки эффективности управления угледобывающими предприятиями с использованием модели «затраты-выручка-прибыль» / А.И. Нифонтов, О.П. Черникова // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2014. №1. С.154-160.

4. Черникова О.П. Оценка риска банкротства горного предприятия / О.П. Черникова, С.А. Никитина // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2013. С.147-155.

УДК 334.012.4: 622

ОПТИМИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ АО «РАСПАДСКАЯ УГОЛЬНАЯ КОМПАНИЯ» ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ АКТИВИЗАЦИИ РАЦИОНАЛИЗАТОРСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПЕРСОНАЛА КОМПАНИИ

[1]к.э.н. Казанцева Г.Г., [2]Заречнева И.М.
1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
2 - АО «Распадская угольная компания», г. Междуреченск, Россия

Аннотация. Крупные промышленные компании испытывают постоянную потребность в оптимизации бизнес-процессов. Отсутствие поддержки со стороны научных организаций приводит к необходимости решать поставленные задачи, опираясь только на рационализаторский потенциал персонала. Опыт применения горно-металлургическим холдингом комплекса методов активизации рационализаторского потенциала персонала компании постоянно пополняется и дает экономические эффекты в решении поставленных задач.

Ключевые слова: горно-металлургический холдинг, совершенствование бизнес-процессов, креативной персонал, инновационные идеи, методы активизации, рационализаторский потенциал

ООО «ЕвразХолдинг» (ЕВРАЗ) является вертикально-интегрированной металлургической и горнодобывающей компанией с активами в России, на Украине, в США, Канаде, Италии, Казахстане и Южной Африке и объединяет около 100 000 сотрудников по всему миру [1]. Используя свой слоган «Мы делаем мир сильнее» и такой могущественный внутренний ресурс как трудовой, топ-менеджеры компании, генерирующие инновационные решения, по-новому взглянули и оценили эффекты от движущей силы рационализаторских возможностей персонала. Творческий и инициативный персонал – это самый доступный и дешевый ресурс, создающий инновационные идеи для своей компании.

Горно-металлургическая компания ЕВРАЗ, имеющая множество трудностей, связанных с широким кругом решаемых задач и многоотраслевой спецификой бизнес-процессов, постоянно нуждается в их переоценке и оптимизации. В ситуации, когда предприятия остались без опоры академических и отраслевых научно-исследовательских институтов, а ученые потеряли экспериментальные базы для опробования своих идей и инноваций, возникла потребность в разработке системы самостоятельных изысканий. Однако, ни один даже самый грамотный инженер, экономист или топ-менеджер не может иметь достаточный уровень компетентности в решении задач междисциплинарного характера [2].

В АО «Распадская угольная компания», представляющей дивизион «Уголь», проводится апробация комплекса методов активизации рационализаторских способностей своего персонала. Опыт показывает, что грамотно подобранная группа специалистов разных подразделений, получившая четко обозначенную задачу и погруженная в соответ-

ствующую творческую атмосферу, способна решать задачи любой сложности с учетом специфики имеющихся ресурсов своих предприятий и высокой оперативностью.

Организация подобных групп – задача сложная и имеет ряд ограничений, но при правильном сочетании всех условий дает высокоэффективные результаты внедрения исследовательских проектов для компании, а так же профессиональный и творческий подъем привлеченного персонала. При этом подходы компании к решению различных проблем требуют методологической и организационной согласованности.

Рассмотрим организационные этапы, которые необходимо провести для получения успешных результатов от работы исследовательских (творческих) групп [3].

Первый этап – определение тематики исследования, постановка задачи. Данный этап является менее сложным и более отработанным. Тематика исследования определяется путем коллективных обсуждений наиболее квалифицированными кадрами и директорами производственных подразделений компании, имеющих проблемы, на основе которых определяется комплексная задача.

Второй этап – подбор творческого и инициативного персонала. Успех исследовательской работы в любой области знаний может быть обеспечен только людьми, обладающими творческими способностями, и жизненный опыт показывает, что количество таких людей на промышленных предприятиях мало. Главная задача этого этапа – это правильное использование в компании творчески одаренных людей. Поскольку эта группа людей ограничена, то надо создать условия, обеспечивающие наиболее полное ее использование.

Третий этап – обеспечение информационной и материальной базой, необходимой для проведения исследовательской работы. Хорошо организованная научная и производственная информация, личное общение исследователей с работниками изучаемых производственных объектов являются одним из самых могучих средств, обеспечивающих правильную организацию исследования и эффективность работы. Сотрудничество с исследователями сходных проблем на городском, региональном, государственном и международном уровнях, помогает решить проблему наиболее качественно, полно и оперативно на долгосрочную перспективу. Получение и предоставление исследовательской группе информации во всех необходимых формах является наиболее дорогостоящим этапом.

Успех работы всех этапов возможен только тогда, когда она обеспечивается креативным руководителем, который должен сам быть одарен исследовательскими способностями и умениями [4].

Разнообразие решаемых исследовательских задач по масштабу и сложности определяет подход к подбору и обучению персонала, включаемого в исследовательскую (проектную) группу, объем и стоимость предоставляемой для решения задачи информации, следовательно, ожидаемый эффект. На практике все три этапа организуются параллельно.

Таким образом, разные запросы порождают различные подходы к организации исследовательских групп. Практика компании наработала следующие методы их организации: конкурсы на рационализаторские идеи, школа молодых специалистов, техфорум, теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), конференции.

Конкурсы на рационализаторские идеи. Активное участие в конкурсах принимала творческая молодежь. Однако, недостаточный профессионализм инициативного персонала и неактуальность предлагаемых рационализаторских идей для компании не способствовал оптимизации важных бизнес-процессов. Потребовалось дополнительное обучение молодых специалистов и четкая постановка актуальных задач для компании.

Школа молодых специалистов. Метод включает в себя передачу знаний профессионалами молодежи и использования ее как креативного ресурса. Были успешно проведены несколько школ молодежи, таких как школа обогатителя, школа добычника, школа электромеханика. В среднем, в каждой школе работало по 20 преемников.

После отбора талантливой молодежи для этих школ за каждым преемником закреплялись конкретные исследовательские проекты. В течение пяти месяцев преемники изучали теорию по исследуемой тематике. Следующие два месяца проводилась стажировка, как на своих, так и на сторонних предприятиях. Место стажировки определялось исходя из особенностей и потребностей для решения задач проекта. В последующие два месяца создавался исследовательский проект. Все разработанные проекты внедрены в производство и дали экономические эффекты.

Метод является результативным, но для крупной компании охват персонала данным методом недостаточен. Необходимо «всколыхнуть низы» и привить им массовую исследовательскую культуру и рационализаторскую инициативу.

Техфорум. Метод более масштабный по охвату персонала и решаемых задач по различным бизнес-процессам. Например, на предприятиях, осуществляющих добычу угля открытым способом, это – экскавация, ведение буровзрывных работ, планирование и организация производства. Для выработки решения по устранению проблемы формируется группа участников: руководителей основных структурных подразделений, связанных с темой техфорума; группы рабочих с различных технологических процессов и HR-специалисты компании для наблюдения и регулирования процесса протекания техфорума (модераторы). В целом в одном технофоруме задействовано около 40 человек. Модераторы способствуют созданию творческой среды, которая сподвигает группу на идеи. Обсуждения длятся в течение трех дней. По окончании технофорума жюри в составе генерального директора, руководителей предприятий, ряда экспертных функциональных руководителей различных направлений деятельности отбирает лучшие проекты. Отобранные проекты вносятся в 90-дневные производственные планы предприятий компании.

ТРИЗ. Основная задача ТРИЗ – преобразовать изобретательство из спонтанного творческого процесса в системную и планомерную деятельность, способствующую усовершенствованию и оптимизации процессов на каждом рабочем месте. Для работы по данному методу привлекается молодежь с целью превращения ее знаний в ресурс. Параллельно ТРИЗовцами ведется разъяснительная беседа с руководством молодежи «о важности рационализаторства» в их структурных подразделениях.

Метод имеет большую практику применения в различных компаниях. Для АО «Распадская угольная компания» ТРИЗ является проверенным методом, который получил широкий спектр использования в рамках решаемых производственных задач.

Конференция, как и ТРИЗ, является хорошо известным методом генерации новаторских идей. Однако, компания изменила ранее использовавшийся подход в организации научно-практических конференции инициативного персонала своей компании. На сегодняшний день конференции проводятся по заданной тематике. Так, например, в этом году организуется конференция «нового формата» по актуальной теме «Охрана труда». В конференции примут участие специалисты и рабочие различных профессий из разных структурных подразделений компании. Лучшие работы, предложенные в рамках конференции, будут внедрены в производство.

Перечисленные методы получения рационализаторских предложений от персонала, усовершенствовавших бизнес-процессы производственных подразделений компании, показали свою результативность. Многие проекты внедрены. Однако, требуется формирование системы оптимизации бизнес-процессов компании на основе комплекса рассмотренных выше методов активизации рационализаторского потенциала персонала.

Менеджеры компании видят необходимость в тех методах, использование которых способствуют безотказному решению задач разных уровней сложности и масштаба в заданный момент и с любым штатом персонала. Для этого необходимы дальнейшая апробация ранее использованных и поиск новых методов подбора, обучения, воспитания и организации талантливых и творческих исследователей среди персонала компании.

Список литературы

1. Официальный сайт группы ЕВРАЗ : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.evraz.com

2. Казанцева Г.Г. Методика выбора эффективной системы управления для предприятия (на примере угледобывающих предприятий) / Т.В. Петрова, Г.Г. Казанцева – Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). // 2007.- № 11. - С. 108-112.

3. Капица П.Л. Эксперимент. Теория. Практика / Под ред. А.С. Боровик-Романов, П.Е. Рубинин – М.: Изд. «Наука». – 1981. – 496 с.

4. Аузан А.А. «Эффект колеи». Проблема зависимости от траектории предшествующего развития – эволюция гипотез / А.А. Аузан // Вестник Московского университета. Серия 6, Экономика. - 2015. - N 1. - С. 3-18.

УДК 331.1

ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ ЧИСЛЕННОСТИ ПЕРСОНАЛА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

к.т.н. Огнев С.П., к.э.н. Шепелева Н.А.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В данной статье авторами предложен модельный подход для поиска оптимальных управленческих решений по оптимизации численности персонала и максимизации производительности труда рабочего, а также определена возможность применения модельного подхода для исследования, анализа и прогнозирования управленческих решений по оптимизации численности персонала в других отраслях промышленности.

Ключевые слова: численность персонала и производительность труда рабочего по добыче угля, модельный подход.

Проблема оптимизации численности персонала в угольной промышленности России в период её реструктуризации является острой. *Под оптимизацией численности* мы будем понимать сведение численности персонала на угледобывающих предприятиях к минимуму без снижения эффективности производства, а ещё лучше – с его увеличением, за счёт максимизации производительности труда. При этом рост производительности труда при сокращении численности персонала на угольных предприятиях рассматривается как *фактор повышения конкурентоспособности* предприятий угольной промышленности и *способствует её развитию* в долгосрочной перспективе.

Для предприятий угольной промышленности, большинство которых являются градообразующими, проблема оптимизации численности персонала приобретает особое значение. Дело в том, что потребность в регулировании процессов, связанных с высвобождением персонала на угольных предприятиях и поиске оптимальных управленческих решений по оптимизации численности персонала и максимизации производительности труда рабочего, значительно выше [8]. Решающую роль в регулировании этих процессов в ходе реструктуризации угольной промышленности играют дополнительные региональные институты, несмотря на принципиальную значимость позиций других субъектов – руководства отраслевых управленческих и профсоюзных структур.

Существенным результатом реструктуризации угольной промышленности России является рост производительности труда при существенном сокращении численности работников (табл. 1).

Таблица 1

Динамика численности персонала и производительности труда в угольной промышленности России в 1994-2012 гг. [1, 6]

Этапы реструктуризации угольной промышленности	Годы	Общая численность персонала отрасли (на начало года), тыс.чел	*Темп высвобождения персонала отрасли, в %	Производительность труда рабочего по добыче, т/мес	*Темп прироста производительности труда, в %
1 этап	1994	859,6	-	63,7	-
	1995	783,3	8,9	68,4	7,3
	1996	703,8	10,1	73,4	7,3
	1997	595,2	15,4	81,1	10,4
2 этап	1998	495,6	16,7	87,9	8,4
	1999	421,4	15,0	102,9	17,1
	2000	370,3	12,1	110,3	7,2
	2001	345,8	6,6	116,6	5,7
	2002	336,5	2,9	118,3	1,5
	2003	295,1	12,3	126	6,5
	2004	269,0	8,8	139,3	10,5
3 этап	2005	246,1	8,5	142,5	2,3
	2006	225,4	8,4	146,4	2,7
	2007	210	6,8	159,8	9,2
	2008	190,9	9,1	167,7	4,9
	2009	170,5	10,7	167,7	1,0
	2010	168,8	1,0	193,8	15,6
	2011	169	0,1	208,4	7,5
	2012	168,2	0,5	216,9	4,1

**расчётные данные*

При анализе показателей, приведённых в табл. 1, выявлена тенденция: чем выше темп высвобождения персонала и меньше потребность в приросте персонала, тем выше темп прироста производительности труда [9]. Однако в 1998-1999 гг., 2004г., 2007-2012 гг. прослеживаются отклонения от намеченной тенденции. Можно выделить *три волны в динамике роста производительности труда* рабочего по добыче угля, пиками, которых стали 1997, 1999, 2004 и 2010 гг. При анализе *темпов высвобождения персонала* выявлено также *три волны*, но пиками являются 1998г., 2003г., 2009г. Определено, что прирост производительности труда осуществляется с «запаздыванием» на один год по сравнению с темпами сокращения численности работников. При этом соответственно снижена трудоёмкость добычи угля, в результате чего высвобождено более половины персонала по добыче угля.

Для поиска оптимальных управленческих решений по оптимизации численности персонала и максимизации производительности труда рабочего предлагаем использовать модельный подход. Для анализа сложных объектов управления, таких как организационные и социально-экономические процессы в ограниченных условиях квазилинейности, возможно применять типовые линейные модели и использовать линейные методы анализа динамических и частотных характеристик [4]. Математическое моделирование таких процессов возможно только на линейно-кусочных интервалах с малой длительностью по времени (например, равных циклу процесса), на которых объект имеет линейные участки статической характеристики.

Используем такой подход для моделирования влияния управленческих решений по оптимизации численности персонала на производительность труда рабочего. Фактическая статическая характеристика такого объекта по каналу управления «изменение численности персонала угольной отрасли: v, тыс.чел. – производительность труда рабочего по добыче угля: y, т/мес.», показанная на рис. 1, является квазилинейной характеристикой с функцией $y = 0,067 \cdot v - 139,23$ с величиной достоверности линейной аппроксимации $R^2 = 0,95$.

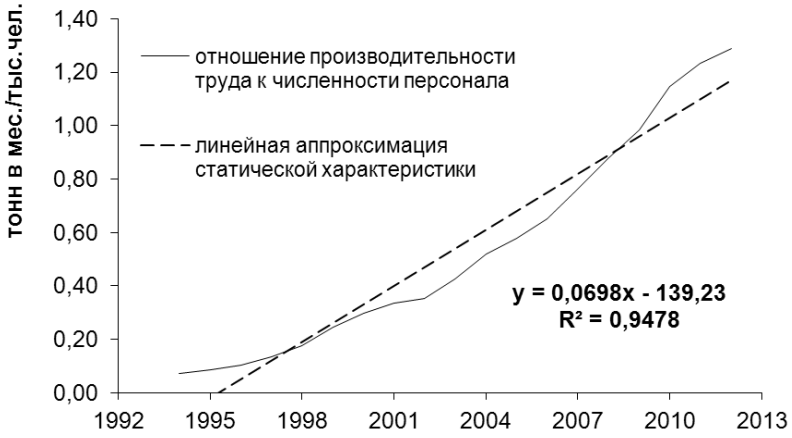


Рис. 1. Статическая характеристика объекта исследования

Большинство производственных и социально-экономических процессов преобразования ресурсов с учетом временных затрат на преобразование представляются последовательностью транспортной и преобразующей модели с общей передаточной функцией

$$\varphi_o(p) = e^{-p\tau_{mp,i}} \cdot \prod_{i=1}^{N} \frac{k_{n,i}}{T_{np,i} \cdot p + 1}. \quad (1)$$

Для исследуемого объекта время переходного процесса, принятое по фактическим данным один год складывается из времени, необходимого для изменения штатного расписания, процедуры сокращения: τ_{mp} – время запаздывания, 2-2,5 мес. или 0,2 года и постоянной времени преобразования $T_{np} = \frac{t_{np}}{3}$, что составляет 0,27 года.; k_n – коэффициент передачи, характеризует соотношение темпа изменений Δy производительности труда к изменению Δv численности персонала отрасли $k_n = \frac{\Delta y}{\Delta v}$, в среднем составляет от -0,13 до -0,17 тонн в мес./тыс. чел.; тем самым формируется верхний и нижний диапазоны изменения производительности труда рабочего.

Окончательно, передаточная функция исследуемого объекта управления имеет вид:

$$\varphi_o(p) = e^{-0,2p} \cdot \frac{(-0,13 \div -0,17)}{0,27 \cdot p + 1}. \quad (2)$$

Модельные переходные процессы в объекте на основе передаточной функции (2) соответствуют фактической динамической характеристики на протяжении 12 лет (рис. 2), что подтверждает адекватность построенной модели и дает возможность применения анализа динамических и частотных характеристик.

Переходные процессы в объекте исследования характеризуется самовыравниванием производительности труда при постоянных темпах снижения численности персонала отрасли, что говорит об управлении рациональным снижением численности. Так при сохранении темпов высвобождения персонала на уровне 8,5% (2003-2005 гг.), производи-

тельность труда рабочего стабилизируется к 2009 г. на уровне около 160 - 180 т/мес., что подтверждает результаты фактических данных (см. табл. 1). Как было отмечено, с 2010 г. фактическая производительность резко повышается за счет внедрения инновационных технологий, выходя за границы модельного представления. Такой «скачок динамики» можно считать возмущающим фактором для рассматриваемого канала управления и если искусственно убрать этот фактор, снизив темп роста производительности до среднего уровня (на рис. 2 – штриховая линия), то динамика производительности продолжает соответствовать модельному представлению и на последующие годы.

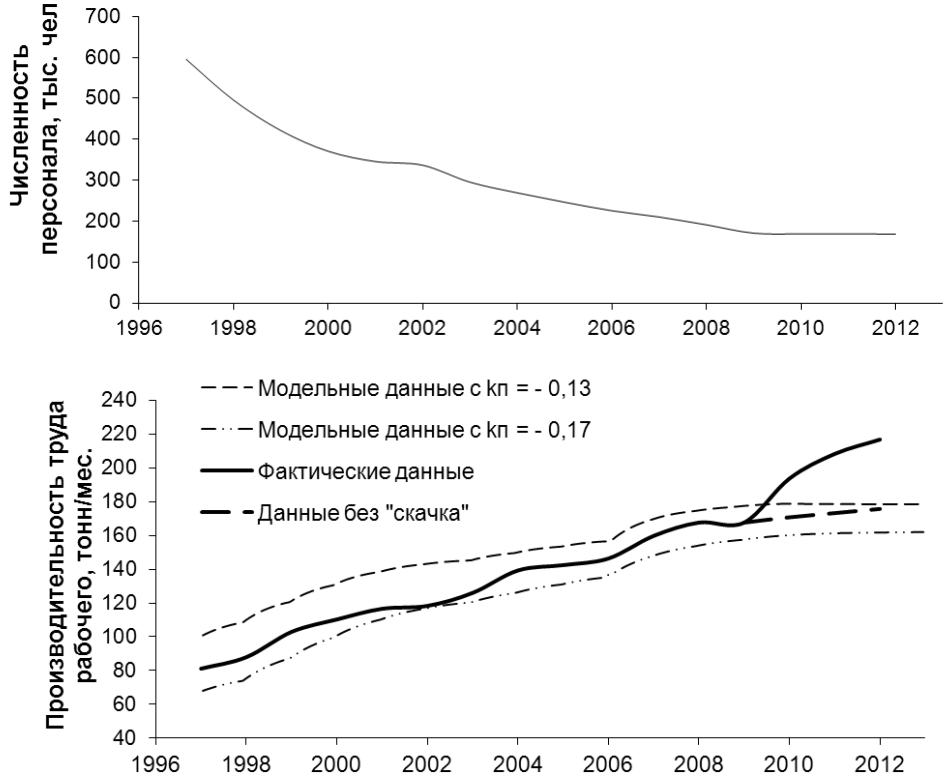


Рис. 2. Фактический и модельные переходные процессы в объекте исследования по каналу управления «численность персонала – производительность труда рабочего»

Покажем влияние временных интервалов снижения численности персонала на производительность труда и эффективность управления исследуемым объектом на основе применения частотных характеристик к социально-экономическим и производственным объектам [5, с. 20-24].

Амплитудно-частотная $A(\omega)$ и фазо-частотная $\varphi(\omega)$ характеристики модели объекта (2) имеют следующий вид:

$$A(\omega) = \frac{-0{,}13 \div -0.17}{\sqrt{0{,}07 \cdot \omega^2 + 1}}; \qquad \varphi(\omega) = -(0{,}2 \cdot \omega + arctg\ 0{,}27 \cdot \omega). \tag{3}$$

Графики частотных характеристик объекта представлены на рис.3.

Анализ амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) $A(\omega)$ показывает, что максимальная эффективность влияния снижения численности персонала на увеличение производительности труда достигается при указанном темпе высвобождения персонала 8,5%, что принято за номинальную нагрузку на объект управления и составляет $A_{ном} = k_n$ = 0,13 – 0,17 тонн в мес./тыс. чел. Любое изменение темпа высвобождения (увеличение или уменьшение нагрузки) приводит к уменьшению эффективности. Причем рабочая область системы определяется нижней границей эффективности, 37% от номинальной эффектив-

ности $A_{ном}$, т.е $A_{раб}$ = 37%*(0,13 – 0,17) = 0,04 – 0,06 тонн в мес./тыс.чел. Такой рабочей границе по графику АЧХ соответствует максимальные периоды изменения темпов высвобождения персонала $T_p = 2\pi/\omega$ = 0,4 - 0,6 года. Таким образом, ускорение или замедление высвобождения персонала в 2 раза относительно номинального (один раз в год), приведет в обоих случаях к резкому спаду производительности труда рабочего до минимального уровня. Дальнейшее изменение снижает эффективность управления до нулевого.

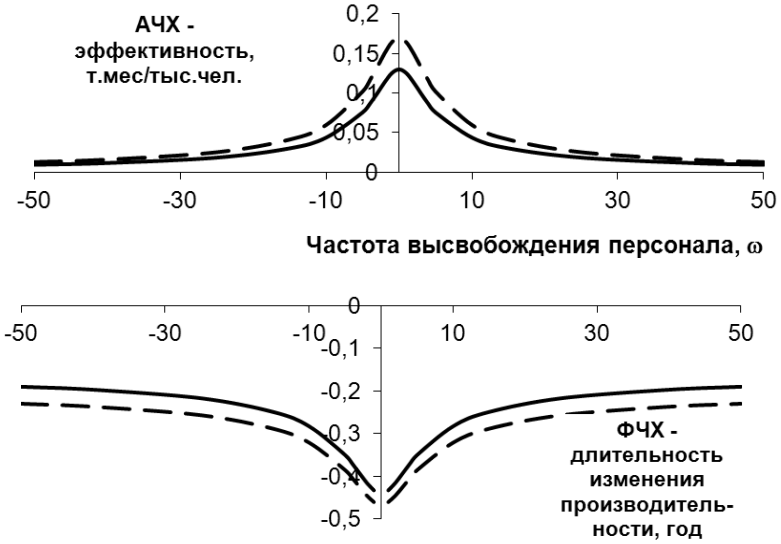


Рисунок 3 – Частотные характеристики объекта исследования

Фазо-частотная характеристика ФЧХ *tp(ω)* отражает изменение временного режима (длительности изменения производительности труда) в зависимости от нагрузки (темпов высвобождении персонала). Синхронный режим работы достигается только при номинальных темпах *T*. Изменение темпов приводит объект управления к застойному режиму, при котором производительность труда не успевает самовыравниваться после высвобождения персонала. Так рабочей границе изменения темпов высвобождения персонала *Tp* = 0,4 - 0,6 года соответствует увеличение требуемого времени на выравнивание производительности на 0,3 года больше относительного номинального в один год, что в свою очередь, также сказывается на эффективность управления социально-экономическим объектом. Дальнейшее изменение нагрузки на систему и, вследствие этого, критическое снижение эффективности работы, приводит к необходимости принимать иные методы управленческих решений, привлекать дополнительные мотивации для стабилизации производительности труда рабочего.

Таким образом, предлагаемый подход к анализу функционирования производственных процессов на основе частотных характеристик позволяет своевременно определить рабочие области системы, количественные показатели эффективности и регламентов работы, тем самым отработать рациональные управленческие решения. Более того, приведенные результаты дают возможность применять построенную модель для исследования, анализа и прогнозирования управленческих решений по оптимизации численности персонала на угольных предприятиях, а с учетом корректировки параметров модели и в других отраслях промышленности.

Список литературы

1. Итоги работы угольной промышленности России за 2012 год // Уголь. – 2012. – №12. – С. 5-8.

2. Кожуховский, И. Реструктуризация угольной промышленности / И. Кожуховский. - Дис….канд. экон. наук. – М., 2003. – 150 с.

3. Мазин А.Л. Экономика труда / А.Л. Мазин. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2009. – 546 с.

4. Огнев С.П. Применение линейных типовых моделей в сложных системах. - Современные проблемы информатизации в анализе и синтезе технологических и программно-телекоммуникационных систем: Сб. трудов. Вып. 14 / Под ред. О.Я. Кравца. – Воронеж: Научная книга, 2009. - 450 с.

5. Огнев С.П., Огнева А.Г. Частотный анализ эффективности производственных процессов. - Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2013. Сборник научных трудов SWorld. Том 9. Технические науки – Одесса: Черноморье, 2013.- 248 с.

6. Основные итоги деятельности по координации программ местного развития и решению социальных проблем, вызванных реструктуризацией предприятий угольной промышленности за период 1998–2005 гг. // Уголь. – 2006.– №7. – С. 45.

7. Попов В.Н. Социальные проблемы в угледобывающих регионах при структурной перестройке угольной промышленности России / В.Н. Попов, А.А. Рожков. – М.: 1998. – 178 с.

8. Тришина Н.А. Роль коллективного договора в развитии норм регулирования трудовых отношений на предприятиях угольной промышленности Кузбасса / М.В. Курбатова, Н.А. Тришина // Человек и труд. – 2009. – № 12. – С. 19.

9. Эренберг Р.Дж. Современная экономика труда. Теория и государственная политика / Р.Дж. Эренберг., Р.С. Смит. - М.: МГУ, 1996. – 850 с.

УДК 681.3.07

АЛГОРИТМ И СТРУКТУРА КОНТЕНТА ОБУЧАЮЩЕ-ТЕСТИРУЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ БАЗОВЫХ ДИСЦИПЛИН СПЕЦИАЛЬНОСТИ 130400 «ГОРНОЕ ДЕЛО»

д.т.н. Домрачев А.Н.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация: В статье рассмотрены итоги развития обучающе-тестирующей программы для базовых дисциплин специальности 130400 «Горное дело», приведены алгоритм работы интерфейсного модуля и структура контента, в качестве которого выступают вопросы по дисциплинам. Наряду с анализом программы статья содержит рекомендации по расширению и повышению эффективности использования результатов тестирования при подготовке студентов по специальности 130400 «Горное дело».

Ключевые слова: программа тестирования, алгоритм, вопросы, итоговая аттестация, специальные дисциплины, учебный процесс

Разработка обучающе-тестирующей программы, охватывающей практически все базовые дисциплины специальности 130400, была начата на кафедре разработки пластовых месторождение (РПМ) СибГИУ в 2005 г. в рамках создания учебно-методических информационных комплексов [1] и продолжается до настоящего времени уже как самостоятельное направление научно-методической работы. Несмотря на наличие и относительную доступность высокоуровневых сред реализации мультимедийных технологий в образовании [2], гибкость и максимальное соответствие специфике горных дисциплин позволяет данной программе оставаться востребованной в учебном процессе.

В ходе адаптации программы было выделено 4 основных структуры вопросов: выбор истинных утверждений (из 1–6 предложенных с использованием *check-box* или рас-

крывающихся списков), формирование истинного утверждения (путем заполнения критичных для смысла утверждения пропусков или задания порядка следования отдельных составляющих утверждения), выбор качественных параметров технологии для заданных горно-геологических условий и численное решение задачи. Каждый вопрос состоит из **.html* – файла вопроса, внешнего файла *java-script*, одного или нескольких рисунков (*GIF*-анимаций) и **.html* – файла пояснения [3].

Уровни сложности вопросов сформировались в процессе развития программы – от наиболее простых – на выбор истинных утверждений до численного решения задач с динамически изменяющимися исходными данными.

В программе реализовано два подхода к оцениванию ответа – аддитивный и логический. Аддитивная оценка формируется как

$$S_{ij}=\Sigma a_i k_i - \Sigma b_j k_j \,, \qquad (1)$$

где a_i - истинное утверждение; b_j - ложное утверждение; k_i, k_j - соответствующие оценочные коэффициенты.

При логическом оценивании

$$If\ c_i=TRUE\ \ S_i=max; \qquad (2)$$
$$If\ c_i=FALSE\ S_i=0,$$

где c_i – утверждение, принятое в качестве ответа.

Более высоким уровнем организации контента являются билеты, которые реализованы в виде папок, включающих 4 вопроса, разделенных по уровням сложности. Алгоритм работы и интерфейс главной формы проведения тестирования имеют следующий вид (рис. 1).

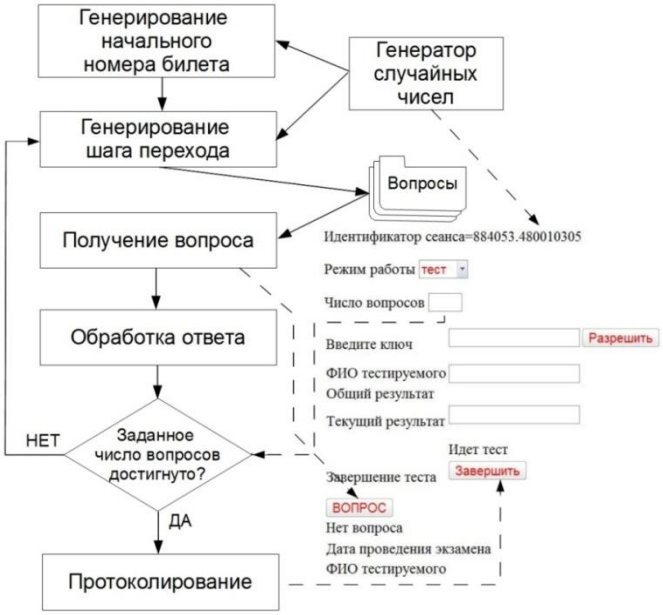


Рис. 1. Структура и интерфейс главной формы программы

Процесс взаимодействия с программой в режиме обучения реализован таким образом, что при оценке ответа ниже, чем максимально возможная, открывается страница с необходимыми пояснениями (рис. 2).

Пояснение реализовано в виде самостоятельного **.html* – файла и может содержать правильный ответ с минимально необходимыми теоретическими пояснениями или алгоритм решения задачи.

Следует отметить, что сложившаяся структура билета ограничена только по числу входящих в него вопросов; порядок их следования (он задается именем **.html* – файла) и уровни сложности задаются произвольно в процессе «наполнения» билета. В настоящее время существуют варианты программы для дисциплин «Вскрытие шахтных полей»,

«Технология отработки пологих пластов», «Строительство горных выработок», «Проектирование шахт», «Комбинированная разработка месторождений полезных ископаемых».

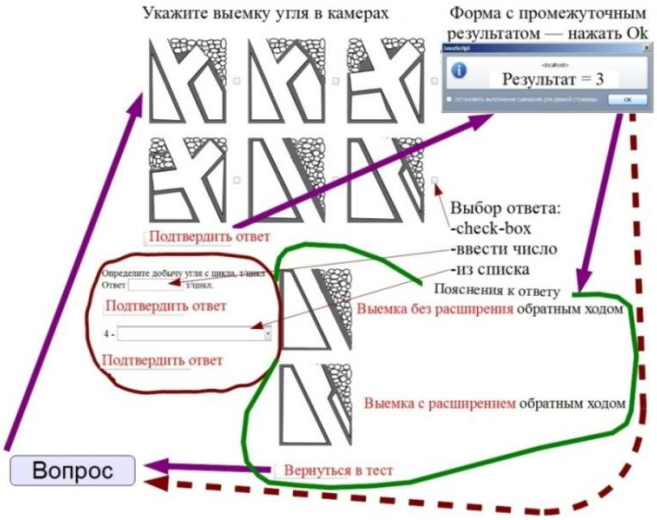


Рис. 2. Алгоритм взаимодействия пользователя с программой

Почти 10 лет использования данной программы на кафедре РПМ (геотехнологии) СибГИУ наряду с непрерывным совершенствованием структуры и содержания контента позволили сделать ряд заключений более общего характера. Для повышения эффективности обучения/тестирования как элемента процесса подготовки горных инженеров необходимо.

1. Создание двух различных выборок — обучающей и тестирующей, причем оптимальным является создание выборок за счет замены обычных вопросов задачами с динамически изменяющимися условиями.
2. Реализация обучающего модуля на основе фреймов с возможностью задания не только числа, но и уровня сложности вопросов для каждого сеанса обучения.
3. Расширение использования вопросов, в качестве ответа на которые принимаются изображения (например, технологические карты или схемы), составляемые из произвольно изменяемых фрагментов.
4. Поощрение практики использования программы при проведении внутрикафедральных олимпиад и конкурсов, как альтернативы (дополнения) к существующей системе аттестации студентов.
5. Внедрение комплекса тестов (на базе описанной выше программы) для проверки готовности студентов к ответам на вопросы при защите выпускной квалификационной работы
6. Стимулирование преподавателей кафедры к разработке вопросов (ситуационных заданий) и анализу эффективности использования программы за счет начисления рейтинговых баллов в общеуниверситетской системе оценки эффективности работы преподавателей.

Список литературы

1. Домрачев А.Н. Первый этап внедрения сетевого учебно-методического и информационного комплекса по курсу «Технология и механизация открыто-подземной разработки МПИ» //Домрачев А.Н Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. статей междунар. научно-практ. конф. / Сиб. гос. индустр. ун-т ; ЗАО «Кузбасская ярмарка».; под ред. В.Н.Фрянова. – Новокузнецк : СибГИУ, 2007. - С. 123-126.

2. Федунец Н.И. Применение мультимедийных технологий в образовании // Н.И. Федунец, И.В. Ярощук. – М.:МГГУ, 2006. - 88 с.

3. Гудман Д. Java Script. Библия пользователя, 5-е издание : Пер. с англ.// Денни Гудман, Майкл Моррисон. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. – 1184 с.

УДК 332.14

РОЛЬ ИННОВАЦИЙ В ТРАНСФОРМАЦИИ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНА

к.т.н. Дубовик Ю.В.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Деятельность экономических субъектов влияет на состояние ресурсной базы, в том числе на ее истощение и наращивание потенциала, а также трансформацию факторов производства. Применение инноваций способствует повышению эффективности использования факторов производства. Относительные показатели изменения ресурсного потенциала позволяют оценить эффективность инноваций.

Ключевые слова: региональная экономика, ресурсный потенциал, факторы производства, эффективность инноваций, предпринимательская прибыль.

Функционирование экономики региона обеспечивают природные, человеческие, экономические, инновационные ресурсы, которые в совокупности составляют ресурсную базу региона. В результате деятельности отраслей и предприятий выпускается продукция производственного и потребительского назначения, формируются прибыль предприятий, заработная плата, налоговые отчисления, которые также можно рассматривать как источники региональных ресурсов. Например, прибыль и заработная плата могут быть источниками капитала, т.к. эти средства можно направить на инвестиции (прямые или портфельные). Кроме этого, прибыль, заработная плата и налоги могут быть факторами наращивания человеческого потенциала, если расходуются на улучшение условий жизни, обучение, здравоохранение, социальное обеспечение. Прибыль предприятий и налоги могут быть задействованы в рекультивации, геологоразведке, что способствует частичному возобновлению запасов недр и прочих природных ресурсов [1, 2].

В процессе хозяйственной деятельности ресурсы видоизменяются качественно и количественно, а также могут трансформироваться в другие категории факторов производства. Например, запасы полезных ископаемых в недрах относятся к невозобновляемым ресурсам. Многолетняя эксплуатация месторождений полезных ископаемых, например в Кузбассе, приводит к их постепенному истощению, что в недостаточной степени компенсируется освоением новых месторождений. Если природные ресурсы истощаются, то это должно компенсироваться наращиванием капитала, человеческого потенциала, инновационных ресурсов, что служит основой для дальнейшего экономического развития, основанного на смене преобладающих технологических укладов.

Таким образом, использование ресурсов в региональной экономике представляет из себя циклическую систему, в которой на входе имеем всю совокупность ресурсов региона, в то же время выход системы также можно рассматривать как ресурсы, потому что они могут либо непосредственно использоваться в производстве, либо влиять на доступность ресурсов или их качественные характеристики (см. рисунок).

Рациональное использование факторов производства предполагает, что их суммарная оценка должна возрастать в процессе функционирования экономических подсистем.

Ключевым фактором, способствующим повышению эффективности использования всех факторов производства, являются инновации.

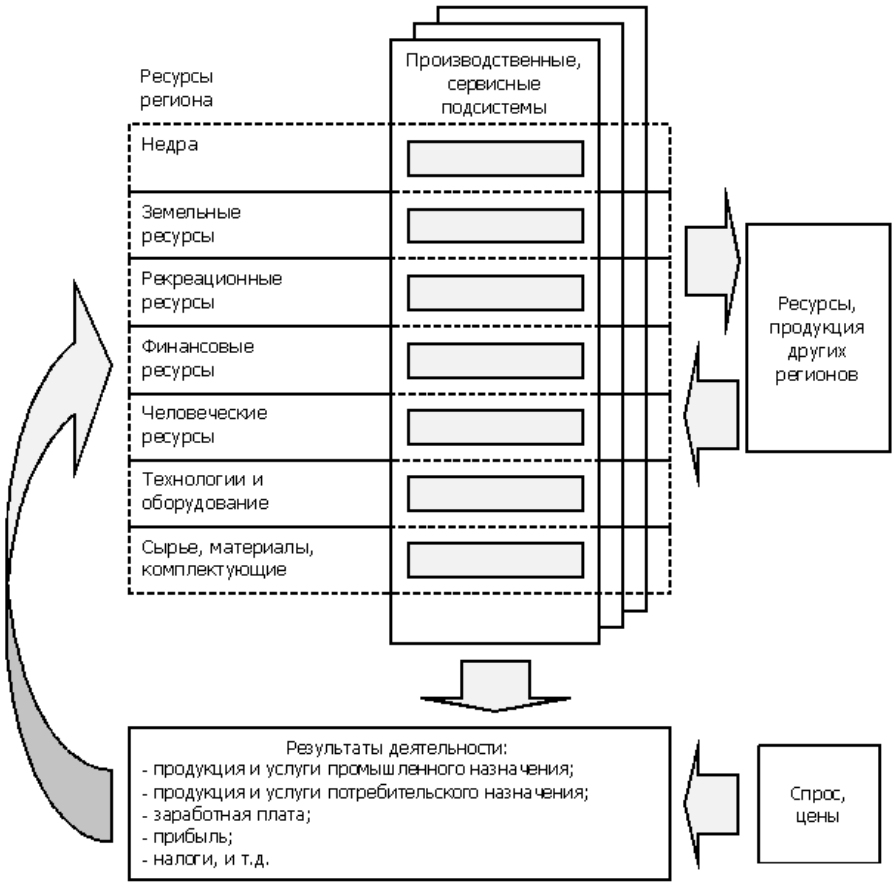


Рисунок – Трансформация ресурсной базы региона
под влиянием хозяйственной деятельности экономических субъектов

В современной экономической науке инновации рассматриваются как один из факторов производства наряду с капиталом, трудовыми и природными ресурсами. Этот фактор является искусственно созданным и производным от других ресурсов (капитала, человеческих ресурсов). Он требует усилий, направленных на его сохранение и развитие.

Инновации позволяют добиваться большей эффективности за счет снижения затрат или создания продуктов (товаров и услуг), обладающих большей ценностью. Применительно к экономике данный термин введен Й. Шумпетером в начале XX века, который под инновациями понимал введение в обращение новых продуктов и методов производства, открытие новых рынков, освоение новых источников снабжения сырьем или другими ресурсами, создание новых рыночных структур для той или иной отрасли промышленности. Им же предложена теория предпринимательской прибыли, суть которой состоит в том, что внедрение инноваций, новых комбинаций факторов производства обеспечивают возможность получения предпринимателем более высокой прибыли, которая содержит в себе элемент монопольной прибыли, являющейся для предпринимателей стимулом к реализации нововведений [3, 4].

В современной экономике рассматривают следующие типы инноваций продуктовые, процессные, маркетинговые и организационные [4, 5].

Минимальным признаком инновации является требование того, чтобы продукт, процесс, метод маркетинга или организации был новым (или значительно улучшенным) для практики данного предприятия. Инновация есть введение в употребление какого-либо нового или значительно улучшенного продукта (товара или услуги) или процесса, нового

метода маркетинга или нового организационного метода в деловой практике, организации рабочих мест или внешних связях.

Продуктовая инновация есть введение в употребление (внедрение) товара или услуги, являющихся новыми или значительно улучшенными по части их свойств или способов использования. Сюда включаются значительные усовершенствования в технических характеристиках, компонентах и материалах, во встроенном программном обеспечении, в удобстве использования или в других функциональных характеристиках.

Процессная инновация есть внедрение нового или значительно улучшенного способа производства или доставки продукта. Сюда входят значительные изменения в технологии, производственном оборудовании и/или программном обеспечении.

Маркетинговая инновация есть внедрение нового метода маркетинга, включая значительные изменения в дизайне или упаковке продукта, его размещении, продвижении на рынок или в назначении цены.

Организационная инновация есть внедрение нового организационного метода в деловой практике предприятия, в организации рабочих мест или внешних связей [5].

В любом случае, инновации способствуют изменению соотношений между затратами ресурсов и результатами производства, так как либо обеспечивают экономию ресурсов (снижение затрат), либо созданию большей ценности для потребителя и, соответственно, более высоким ценам. Например, результатами инноваций могут быть снижение стоимости единицы труда; сокращение потребления материалов и энергии; снижение затрат на проектирование; сокращение времени производства, снижение операционных затрат при предоставлении услуг. В этом случае имеет место более экономное использование факторов производства. Создание большей стоимости имеет место, если результатами инноваций является замещение товаров, теряющих спрос; разработка продукции, дружественной к окружающей среде; сокращение времени реагирования на запросы потребителей; повышение качества товаров и услуг; повышение гибкости производства или предоставления услуг; повышение потенциала производства или оказания услуг; достижение соответствия техническим стандартам; повышение эффективности или скорости снабжения и/или доставки товаров и предоставления услуг; повышение интенсивности обмена знаниями с другими организациями или передачи знаний повышение возможностей реагировать на различные запросы клиентов; развитие и укрепление связей с потребителями; снижение воздействия на окружающую среду.

Инновации тем эффективнее, чем больше рост соотношения между результатами деятельности и стоимостной оценкой используемых ресурсов.

Список литературы

1. Дубовик Ю.В. Модель изменения ресурсного потенциала региона под воздействием производственно-хозяйственной деятельности / Ю.В. Дубовик // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк, 2009. – С. 155-157.

2. Дубовик Ю.В. Воспроизводство ресурсного потенциала и его влияние на экономику региона (статья) / Ю.В. Дубовик // Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых : сборник науч. статей. Вып.1 – Новокузнецк : СибГИУ, 2008. – С. 194-199.

3. Шумпетер Й. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия / Й.Шумпетер. – М.: ЭКСМО, 2007. – 864 с.

4. Чернова О.А. Содержание инновационных процессов в контексте регионального развития / О.А. Чернова // Вестник Томского государственного университета. – 2008. – №316. – С. 155-160.

5. Руководство Осло. Рекомендации по сбору и анализу данных по инновациям / ОЭСР; Евростат. – 3-е изд. – М., 2010. – Режим доступа: http://old.mon.gov.ru/files/materials/7766/ruk.oslo.pdf

УДК 332.1:622.882

ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЕЙ КАК СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Корабель Л.Я.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье представлено авторское видение системы управления рекультивацией как социально-экономической системой, основанное на тетрадном подходе к системам Г.Б. Клейнера. Важным представляется взгляд Клейнера на построение систем с большей устойчивостью за счет обмена ресурсами внутри тетрады.

Ключевые слова: управление, социально-экономическая система, системная тетрада, рекультивация.

Жизненный цикл любого процесса включает в себя несколько стадий (зарождение, становление, рост, зрелость, старость), финальной является стадия завершения работ, свертывание производства, а в случае горного бизнеса – рекультивация.

«Рекультивация земель – это искусственное восстановление плодородия почвы и растительного покрова после техногенного их нарушения» [1].

Учитывая, что с точки зрения финансовых выгод наиболее высокий доход предприятие получает на этапе роста, то достаточно логичным выглядит поведение предприятия, которое пытается уклониться от своих обязательств по рекультивации в конце жизненного цикла, когда доходы снижаются. Но это только с экономической точки зрения. Фактически, любая компания является открытой системой, т.е. активно взаимодействует с внешней средой, что накладывает на нее дополнительную ответственность перед этой средой – перед природой и экологией, людьми, будущими поколениями. Такой подход к вопросу ответственности компании в вопросах рекультивации перед обществом можно назвать социальным.

Необходимо отметить, что активная экономико-хозяйственная деятельность человека приводит к увеличению его влияния на природную среду, причем на современном этапе развития общества эта нагрузка значительно превышает ассимиляционный потенциал окружающей среды, в результате чего возникает кризисная экологическая ситуация. Важным является процесс организации эффективной системы управления финансированием рекультивации для улучшения качества природной среды.

Изучением социально-экономических и экономических систем занимаются многие ученые [2 - 4], выделяя функции систем, их структуру. Одним из исследователей в этой сфере является член-корреспондент РАН Г. Б. Клейнер.

Согласно работам Клейнера [5, 6, 9] все социально-экономические системы (СЭС) используют в своей деятельности различного рода ресурсы, состав которых можно описать следующим образом: пространство (S), время (T), интенсивность (I), активность (A).

Каждая СЭС не обладает всем спектром этих ресурсов, в связи с чем Клейнер Г.Б. сгруппировал системы в некоторые устойчивые бизнес-структуры (тетрады), которые состоят из четырех элементов. Основной идеей взаимодействия четырех систем является обеспечение необходимого обмена ресурсами. Тетрада – это группа из четырех систем

(объектная, средовая, процессная и проектная), имеющая четкую кольцевидную структуру: пары «объект-среда», «среда-процесс», «процесс-проект», «проект-объект» [5]. Эти пары относятся к симбиотическим, а в парах «объект-процесс» и «среда-проект» неизбежна напряженность. Практически тетрада (рис. 1) является независимой от других систем динамической самоорганизованной системой, в нее входят четыре системы различных типов, обладающих всеми видами ресурсов [6].

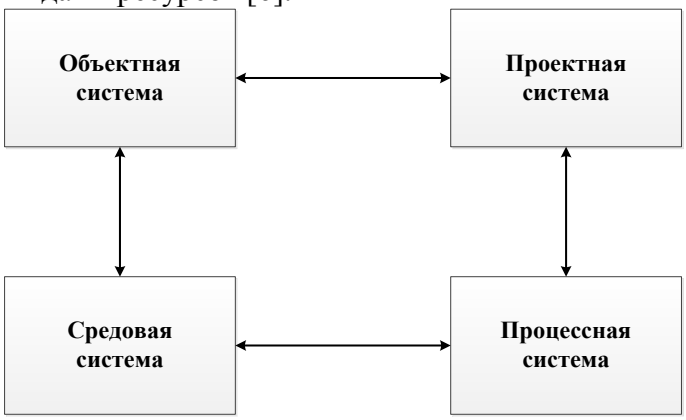


Рис. 1. Реализация обмена ресурсами [3]

Клейнер утверждает, что: «взаимоотношения членов системной тетрады делятся на две группы: сотрудничества и соперничества. Как и в других видах системных тетрад, отношения сотрудничества охватывают четыре пары элементов, а соперничества – две» [7].

Каждый класс систем имеет свою системную миссию в обществе, обусловленную их природой [8]:

– объектные системы обеспечивают устойчивость и стабильность в пределах своего ареала;

– проектные привносят локальные изменения и инновации;

– процессные реализуют задачи распределения потоков благ;

– средовые системы способствуют консолидации, гомогенности социально-экономического пространства.

В зависимости от того, какая из четырех сфер доминирует в данной стране, можно говорить о четырех вариантах ее социально–экономического уклада [9]:

– бюрократическом (доминируют государство и его структуры);

– социальном (доминируют социум и общественные структуры);

– экономическом (доминирует экономика как сфера обеспечения материальных потребностей социума);

– бизнес-ориентированном (доминируют бизнес и его интересы).

В настоящей статье предлагается использовать тетрадное видение системы управления рекультивацией как социально-экономической системы.

Если в качестве объектной системы рассмотреть природные ресурсы, то схему можно представить следующим образом (рис. 2).

Природные ресурсы добываются недропользователями на основе закона «О недрах», лицензионного соглашения, которые предусматривают рациональное использование природных ресурсов и обязательное проведение работ по рекультивации нарушенных участков земной поверхности.

Администрация региона поощряет деятельность недропользователей посредством выдачи лицензии на эксплуатацию недр, поскольку она связана с формированием доходной части бюджета региона.

Также Администрация региона активно взаимодействует с региональным социумом, стараясь повысить его качество жизни, которое частично зависит от налогов физических лиц.

Рис. 2. Система управления рекультивацией как социально-экономической системой

В ресурсодобывающих регионах больш**а**я часть рабочих мест обусловлена наличием природных ресурсов, которые региональный социум вынужден охранять и контролировать их рациональное использование.

В отношениях оставшихся пар неизбежно наблюдается напряженность. Администрация рассматривает интенсивное использование природных ресурсов как источник экологических проблем. В связи с тем, что население лишается возможности пользоваться рекреационным благом данной территории, а деятельность недропользователей обеспечивает рабочие места только части населения, формируются конфронтационные взаимоотношения между социумом и недропользователями.

Исходя из вариантов социально-экономического уклада, принцип бизнес-ориентированности ярко проявляет себя в системе управления рекультивацией.

Свобода ведения бизнеса в любом случае, как и любая другая свобода, подразумевает несение ответственности. Бизнес в лице недропользователей должен осознавать, что несение чисто номинальной ответственности, особенно в вопросах реализации обязательств по рекультивации, крайне негативно влияет на экологическую ситуацию, на качество жизни, в том числе и будущих поколений.

Поэтому планируется разработка системы управления рекультивацией с возможностью переориентации бизнес-ориентированного уклада в экономический, поскольку бизнес работает «на себя, вовнутрь», а при экономическом укладе учитываются потребности как бизнеса, так и социума.

Список литературы

1. Астахов А.С. Экология: горное дело и природная среда // А.С. Астахов. – М.: Издательство Академии горных наук, 1999. – 367 с.

2. Федосеев В.В. Экономико-математические методы и прикладные модели // В.В. Федосеев, – М.: ЮНИТИ, 1999. – 391 с.

3. Коршунова Г.В Системный подход в изучении взаимодействий предприятий [Текст] / Г.В. Коршунова // Вестник Тульского филиала ФинУниверситета. Социально-экономическое развитие региона: теория и практика. – 2014. – С. 25-27.

4. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами // Д.А. Новиков, – Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2012. – 584 с.

5. Клейнер Г. Б. Новая теория экономических систем и ее приложения [Текст] / Г. Б. Клейнер // Вестник РАН. – 2011. – № 9. - С. 1-25.

6. Клейнер Г. Б. Ресурсная теория системной организации экономики [Текст] / Г. Б. Клейнер // Российский журнал менеджмента. – 2011. – Т. 9. – № 3. – С. 3-28.

7. Клейнер Г. Б. Системная экономика как платформа развития современной экономической теории. [Текст] / Г. Б. Клейнер // Вопросы экономики. – 2013. – № 6. – С. 4-28.

8. Клейнер Г. Б. Какая экономика нужна России и для чего? [Текст] / Г. Б. Клейнер // Вопросы экономики. – 2013. – № 10. – С. 4-27.

9. Клейнер Г. Б. Государство и экономика: взаимодействие в свете системной экономической теории. [Текст] / Г. Б. Клейнер // Экономика. Налоги. Право. – 2014. – № 4. – С. 9-24.

УДК 502.55:622.8

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В СИСТЕМЕ ПЛАТЫ ЗА НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НА ПОВЫШЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОСТИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

к.т.н Златицкая Ю.А.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Статья посвящена анализу способности изменений, внесенных в Федеральный закон «Об охране окружающей среды», касающихся преобразования системы платы за негативное воздействие, повлиять на деятельность горных предприятий с целью повышения рациональности природопользования и предотвращения деградации экосистем в прилегающих районах.

Ключевые слова: рациональное природопользование, система платы, федеральный закон, горное предприятие, выбросы, сбросы, отходы, технологии

Существует множество вариантов государственного стимулирования рационального природопользования для предотвращения деградации экосистем и уменьшения техногенной нагрузки на природные комплексы. Прежде всего, органы государственной власти используют административные методы, которые, при прочих равных условиях, позволяют ограничивать масштабы природопользования на законодательном уровне, с возможностью в судебном порядке приостанавливать действие (отзывать) лицензий на право пользования недрами, земельными ресурсами и др. Поскольку лицензирование деятельности введено для всех предприятий, относящихся к опасным производственным объектам, то сама возможность отзыва лицензии должна стимулировать предприятия к выполнению мероприятий по рационализации природопользования, в случае не выполнения которых, предприятия могут понести существенные убытки из-за невозможности ведения производственной деятельности.

Для того, чтобы сократить количество разночтений в трактовке Федерального закона "Об охране окружающей среды" и уменьшить вероятность не возмещения вреда для окружающей среды, возникшего в результате ведения хозяйственной деятельности, Государственной Думой и Советом Федерации 21.07.2014 г. принят Федеральный закон №219-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации" [1]. ФЗ уточнил основные понятия, относящиеся к определению размера платы за негативное воздействие на окружаю-

щую среду и ввел новые – «наилучшая доступная технология», «комплексное экологическое разрешение» и др. Принятие этих изменений явилось следствием разработанной в стране стратегии экологической безопасности, в которой указывается, что размер трат на экологию несоразмерно мал и необходимо для обеспечения роста экономики внедрить новые правовые основы рационального природопользования.

В соответствии Федеральным законом №219-ФЗ его положения будут поэтапно вступать в силу в течение пяти лет, для того, чтобы дать предприятиям время подготовиться к будущим изменениям, ибо их мгновенное введение делает их слабо реализуемыми.

Та часть изменений, которая не требует от предприятий значительных финансовых ресурсов, вступила в силу с 01.01.2015 года. С этого времени объекты, оказывающие негативное воздействие, будут отнесены к четырем разным категориям в зависимости от степени существующего или потенциального воздействия, сами критерии для отнесения предприятий устанавливаются Правительством РФ при постановке их на государственный учет. Для существующих предприятий отнесение их к определенной категории должно быть осуществлено в течение двух лет, а для новых – в течение полугода. В дальнейшем производственный экологический контроль будет осуществляться на объектах 1-3 категорий, отчеты регулярно предоставляться в уполномоченные органы. Если горные предприятия не обеспечат должную степень очистки выбросов или сбросов, то их деятельность будет приостановлена, а за предоставление в отчетах недостоверной информации введена административная ответственность. Введение Правительством РФ единых критериев не должно позволить отнесение предприятий к более безопасной категории, а ограниченный срок государственного учета, не позволит бесконечно затягивать этот процесс.

С января 2016 года горные предприятия, как и все прочие, будут отчитываться в 4 раза реже – один раз в год до 1 марта года следующего за расчетным, а не ежеквартально, как сейчас, но порядок начисления платы пока не меняется.

С января 2018 года на объектах 1 категории (к которым, скорее всего и будут отнесены горные предприятия), должны быть установлены автоматические средства измерения и учета количества выбросов и сбросов загрязняющих веществ, технические средства фиксации и передачи информации о загрязнениях в специальный государственный фонд с введением обязательной государственной экологической экспертизы проектной документации.

Начиная с января 2019 года изменяется порядок нормирования и оформления разрешительной документации с обязанностью получать, на объектах 1-2 категории, «комплексное экологическое разрешение». При этом время действия временных разрешений на выбросы или сбросы будет приравнено к сроку реализации на предприятиях мероприятий по охране окружающей среды, который ограничивается семью годами. Таким образом, для горных предприятий, оказывающих серьезное воздействие на состояние недр, земельных и других ресурсов, довольно существенным изменением является то, что право на установление временно разрешенных выбросов, сбросов, предоставляется только один раз – на время осуществления мероприятий по реконструкции и техническому перевооружению, которое, с точки зрения государства, не может превышать семи лет.

Последним изменением является введение с января 2020 года запрета на выдачу разрешений на ввод в эксплуатацию объектов капитального строительства, способных оказать негативное воздействие на окружающую среду, если существуют наилучшие доступные технологии, способные обеспечить лучшие с экологической точки зрения показатели. Для стимулирования внедрения лучших технологий вводятся в силу положения о коэффициентах (от 0 до 100) для расчета платы за негативное воздействие: 0 – при соблюдении технологических нормативов и внедрении «наилучших доступных технологий» в пределах разрешенного объема отходов; 1 – при соблюдении нормативов выбросов,

сбросов или размещения отходов; 25 – при соблюдении лимитов временно разрешенных выбросов, сбросов или размещения отходов; 100 – превышение объемов выбросов, сбросов, которые превышают установленные для объектов 1 категории. Если не будут выполнены мероприятия по уменьшению выбросов, сбросов или размещения отходов (через полгода после граничного срока проведения мероприятий), вся плата, начисленная за отчетный период, будет перерассчитана с коэффициентом 100.

Рациональность природопользования в зависимости от региона зависит от различных факторов и типов предприятий, в Кемеровской области одни из основных предприятий природопользования – горные. В текущей ситуации, с существующей системой платы за негативное воздействие на окружающую среду для многих из них не существовало достаточных стимулов для внедрения новых наилучших природоохранных технологий, а в условиях неопределенности правовой среды предприятия предпочитали не раскрывать актуальную информацию о создаваемых угрозах окружающей среде и усилиях в области природоохраны. Кроме того, большинство из них считали экономически более целесообразным для себя внесение оплаты за сверхлимитное воздействие, изменению параметров технологий на экологически более безопасные. Так как стоимость новых технологически доступных технологий может превышать эту плату весьма существенно, и срок их окупаемости слишком велик. Данный закон №219-ФЗ будет стимулировать горные предприятия к внедрению новых более совершенных природоохранных технологий, способствовать уменьшению техногенного воздействия на окружающую среду в Кемеровской области в значительной степени нарушаемую горными предприятиями, особенно если выдача новых лицензий на разработку участков месторождений будет привязана к проведению рекультивационных мероприятий на отработанных территориях.

Список литературы

1. О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды": федеральный закон Российской Федерации от 21.07.2014 №219 - ФЗ // Собрание законодательства РФ". – 28.07.2014. – № 30 (Часть I). – Ст. 4220.

УДК 004.942

РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА

[1]к.т.н. Приступа Ю.Д., [1]Шишкина С.В., [2]д.т.н. Фрянов В.Н., [2]д.т.н. Павлова Л.Д.
1 - ПТУ «Восточный Кузбасс» ОАО «СУЭК-Кузбасс»,
г. Ленинск-Кузнецкий, Россия
2 - Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Приведены результаты анализа системы управления погрузочно-транспортным предприятием. Обоснована структура управляющих и управляемых подсистем и их взаимосвязь в технологическом процессе с учетом внешних воздействий. Обоснована актуальность создания модели системы управления погрузочно-транспортными предприятиями угледобывающего региона.

Ключевые слова: система управления, подсистемы управления, службы, пути необщего пользования, вагоны, угольные склады, транспортные потоки угля

Согласно результатам статистического анализа [1], добыча угля в России в период 2010-2014 гг. увеличилась на 34,2 млн.т, в том числе в Кузбассе на 25,7 млн.т. В период

экономического кризиса 2008-2009 гг. объём добычи угля снизился в России на 26,7 млн.т, следовательно, система управления предприятиями угольных холдингов должна быть гибкой и способной адаптироваться к изменяющимся внешним условиям. Внешние воздействия существенно влияют на цель и структуру системы управления.

Задачей управляющей подсистемы является обоснование решений, обеспечивающих достижение цели, и воздействий на объект управления. Результатом функционирования объекта управления в структуре угольного холдинга является угольная продукция. Обоснование управляющих воздействий на объект управления для лица, принимающего решения, и передача информации осуществляется с использованием автоматизированных систем управления.

В общем виде систему управления сложными производственными объектами можно представить в виде схемы (рис. 1), основными элементами которой являются субъект и объект управления, а также результат деятельности предприятия, соответствующий поставленной цели управления. Идентификация элементов общей укрупнённой структуры системы управления к условиям функционирования холдинга проведена в соответствии с функциями и перспективами развития его сегментов. Внешние воздействия на производственные единицы холдинга формируются под влиянием динамики производства товарной продукции и турбулентности энергетического рынка.

Конечным звеном в системе управления предприятиями угольного холдинга являются погрузочно-транспортные предприятия (ПТП), которые осуществляют приём и на склады угля, его переработку, погрузку в транспортные средства и поставку почти всей угольной продукции потребителям в соответствии плановым заданием [2].

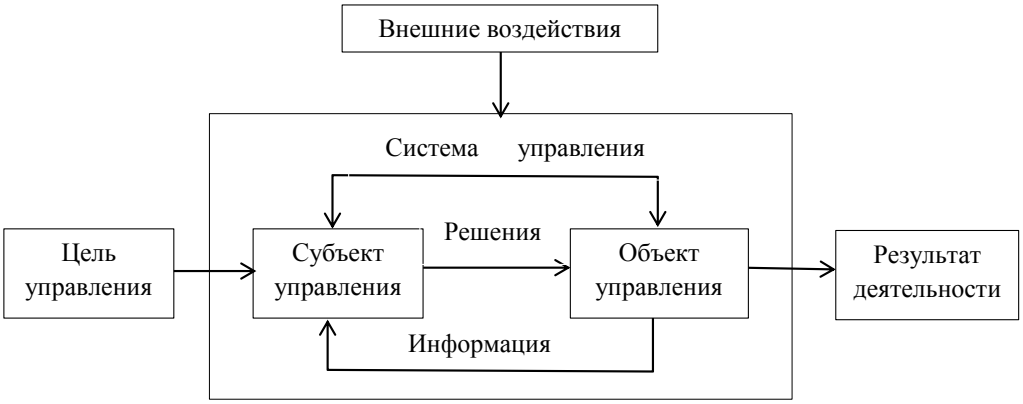


Рис.1. Укрупнённая структура управления производственным объектом

Для создания системы управления ПТП, как любой системы управления техническими объектами, необходимо изучить и идентифицировать структуру предприятия, а также внутренние и внешние связи между элементами объекта управления [3]. В качестве объекта исследования принято одно из погрузочно-транспортных предприятий угольного холдинга ОАО «СУЭК-Кузбасс» - ПТУ «Восточный Кузбасс».

По результатам анализа производственной деятельности установлено, что 94,5% всего угля ПТУ «Восточный Кузбасс» перевозит отправительскими маршрутами в соответствии с действующим на Западно-Сибирской железной дороге (филиал ОАО «РЖД») планом формирования грузовых поездов (на направления Автово, Высоцк, Находка, Томусинская, Жеребцово, Новокузнецк - Северный, Мурманск, Инская).

Грузовая и коммерческая работа на железнодорожном пути необщего пользования ПТУ «Восточный Кузбасс» и станции примыкания Терентьевская производится круглосуточно.

Основной отгружаемой продукцией является уголь, который доставляют на склады следующие предприятия (рис.2): ООО «Разрез Камышанский» - 11,6%; ЗАО «Разрез Майский» - 11,3 %; ОФ № 5 Соколовская - 29 %; ОФ № 5 Котинская - 48,1 %. Погрузка производится на углепогрузочных станциях Тыхта (11,3%) и Соколовская (88,7%).

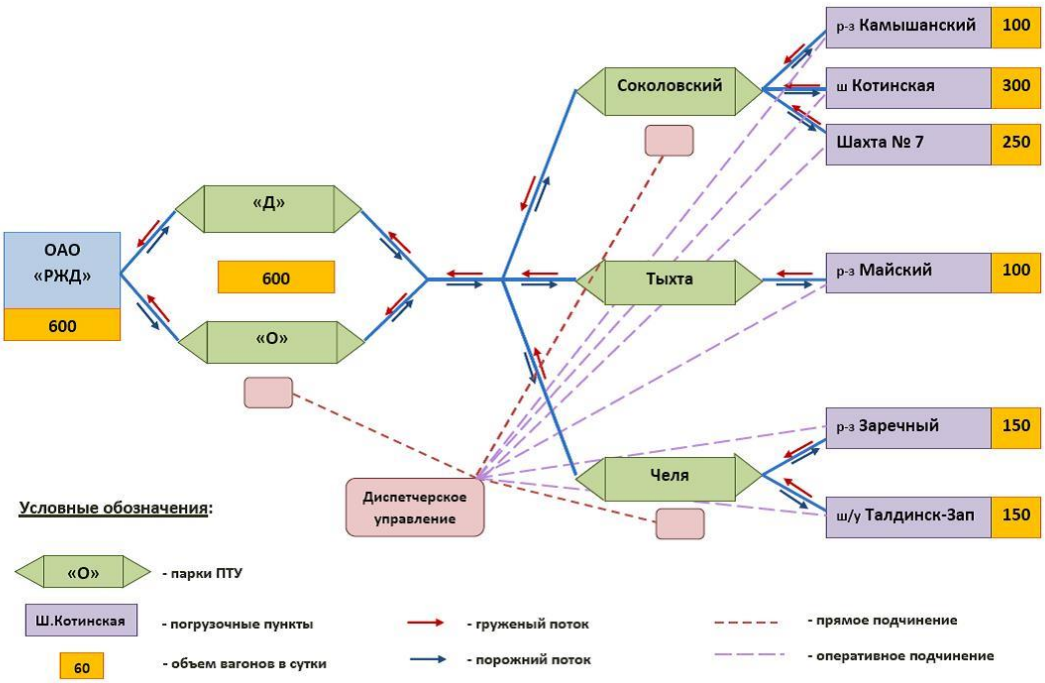


Рис. 2. Схема угольных потоков ПТУ «Восточный Кузбасс»

На путях ПТУ производятся следующие операции с вагонами:
- подборка вагонов по грузополучателям и грузоотправителям;
- подача и уборка вагонов;
- погрузка, выгрузка, взвешивание и дозировка вагонов;
- накопление составов для сдачи на станцию примыкания Терентьевская.

Накопление и формирование поездов и групп вагонов для передачи их на станцию Терентьевская производится на станции Парк «О» по мере вывода вагонов с мест погрузки, выгрузки. Вагоны из-под выгрузки на железнодорожном пути необщего пользования подставляются к готовому составу в «головную» или «хвостовую» часть и выдаются на станцию Терентьевская.

Погрузка угля обеспечивается за счет поступления порожних вагонов. Погруженные вагоны группами выводятся на станцию Тыхта, где накапливаются для перестановки на станцию Парк «О». Отправительские маршруты формируются на станции Парк «О» для сдачи на станцию примыкания Терентьевская.

Общее руководство грузовой и коммерческой работой на железнодорожном пути необщего пользования ОАО «СУЭК-Кузбасс» ПТП «Восточный Кузбасс» осуществляет начальник грузовой службы ПТУ «Восточный Кузбасс».

Погрузочно-разгрузочные работы выполняются собственными силами и средствами контрагентов. Непосредственное руководство погрузочно-разгрузочными работами на местах осуществляют ответственные работники - мастера погрузочных комплексов обслуживаемых предприятий. При производстве погрузочно-разгрузочных работ исполнители руководствуются инструкциями по эксплуатации машин и механизмов, правилами техники безопасности, а также должностными инструкциями машинистов кранов, водителей погрузчиков, стропальщиков, грузчиков, приемосдатчиков.

Управление технологическими процессами и рабочими осуществляет мастер погрузочного комплекса.

Важным элементом ПТП как объекта управления является маневровая работа, ритмичность выполнения которой существенно влияет на эффективность всех технологических процессов и операций предприятия.

Маневровая работа на железнодорожном пути необщего пользования ОАО «СУЭК-Кузбасс» ПТУ «Восточный Кузбасс» организуется в соответствии с действующими нормативными документами и правилами [5-9].

Руководство маневровой работой на промышленных станциях железнодорожного пути необщего пользования ОАО «СУЭК-Кузбасс» ГПУ «Восточный Кузбасс» и контроль за выполнением сменно-суточного плана работы осуществляет поездной диспетчер, который устанавливает порядок и очередность пропуска поездов, маневровых составов, рациональное использование приемоотправочных путей, технических и транспортных средств, контролирует правильность обеспечения безопасности движения.

Под контролем поездного диспетчера производится расформирование прибывшего поезда со станции Терентьевская по путям с одновременной подборкой групп вагонов для обслуживаемых предприятий с таким расчетом, чтобы обеспечить минимальные затраты времени и маневровых средств на подачу, расстановку и уборку вагонов с мест погрузки, выгрузки.

Расстановка по местам погрузки, выгрузки производится по согласованию с ответственными работниками обслуживаемых предприятий.

Приемосдатчики или диспетчеры службы пути периодически докладывают поездному диспетчеру информацию о ходе грузовых операций и планируемой сдаче вагонов на пути станции Парк «О», которая передается в базу данных АСУ ТП.

При маневровых передвижениях по местам погрузки, выгрузки соблюдаются следующие требования:

- перед каждым передвижением вагонов погрузочно-разгрузочные работы по указанию руководителя работ прекращаются, люди отходят в безопасное место, машины и устройства выводятся за пределы габарита подвижного состава, пути очищаются от остатков груза, льда, снега;
- вагоны на погрузочно-выгрузочных путях закрепляются от ухода порядком, предусмотренным требованиями действующих правил.

Каждая служба или участок осуществляет управление соответствующими элементами объекта управления. В структуре ПТП выделены следующие основные элементы объекта: угольные склады, пункты погрузки угля в железнодорожные вагоны, пути необщего пользования - перегоны, железнодорожные парки, блок-посты, станции примыкания к железнодорожным путям РЖД. На указанных объектах выполняются процессы и операции, которые диагностированы с целью построения модели и механизма управления ПТП.

Основными организационными структурными элементами управляемого объекта являются следующие: служба подвижного состава, служба пути, отдел материально-технического снабжения, участок связи, служба грузовой и эксплуатационной работы, служба производственного контроля и охраны труда, производственно-технический отдел, отдел АСУ ТП [4].

В соответствии с приведённой характеристикой ПТП и укрупнённой структурой управления предприятием, приведённой на рис. 1, разработана детальная система управления (рис. 3), которая включает ряд управляющих и управляемых подсистем [3, 4].

В управляемых подсистемах субъектами управления являются руководители, линейные исполнители и исполнители на соответствующих рабочих местах. Для обмена информацией и её обработки используется автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) [4], которая обеспечивает учёт технологических операций с вагонами, номерной учёт вагонов и локомотивов, прогноз траекторий транспортных потоков, формирование отчётных документов. На основе обобщённой информации

лица, принимающие решения на соответствующем иерархическом уровне управления формируют управляющие воздействия.

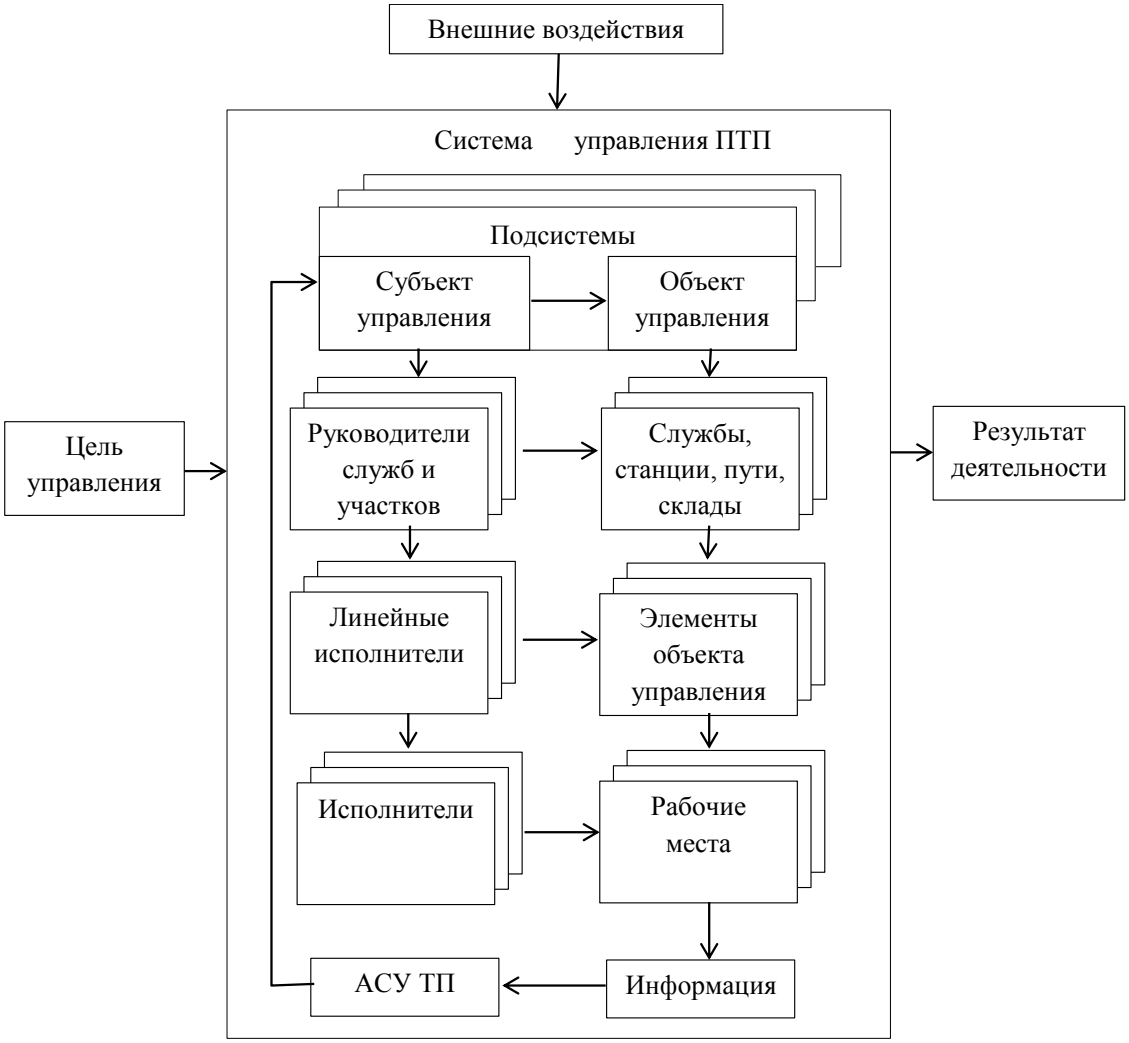


Рис. 3. Организационная структура управления погрузочно-транспортным предприятием

Выводы.

1. Обоснована актуальность создания модели управления погрузочно-транспортными предприятиями как объекта с изменяющимися параметрами, обусловленными турбулентностью рынка энергетических ресурсов и неравномерностью поставок угля с шахт и разрезов.

2. Разработана организационная структура системы управления погрузочно-транспортным предприятием, включающая подсистемы субъектов, обеспечивающих формирование воздействий на службы и участки предприятия, мониторинг и оценку соответствия угольных потоков плановым заданиям.

Список литературы

1.Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2014 года [Текст]/ И.Г. Таразанов // Уголь. – 2015. - №3. – С. 56-71.

2. Приступа, Ю.Д. Система управления неравномерными транспортными потоками в структуре угольного холдинга / Ю.Д. Приступа, В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова // ГИАБ : сб. науч. техн. работ горных инженеров СУЭК. - 2013. - С. 211-219.

3. Новиков, Д. А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. - М.: МПСИ, 2005. - 584 с.

4. Приступа Ю.Д. Моделирование процесса управления транспортными потоками угольного холдинга в условиях неопределённости [Текст] : монография / Ю.Д. Приступа, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов ; Федер. гос. бюдж. образоват. учреждение высш. проф. образования «Сиб. гос. индустр. ун-т». – М. : АНО ИД «Научное обозрение», 2014. – 216 с.

5. Временная Инструкция о порядке обслуживания и организации движения на железнодорожном пути необщего пользования ОАО «СУЭК-Кузбасс» ПТУ «Восточный Кузбасс». - Электрон, текстовые дан. - Режим доступа: base.consultant.ru>КонсультантПлюс >cgi/online.cgi?req=doc... - Загл. с экрана.

6. Инструкция по движению поездов и маневровой работе на железных дорогах Российской Федерации : утв. МПС РФ от 16 окт. 2000 г. № ЦД-790. - Электрон, текстовые дан. - 6 с. - Режим доступа: base.garant.ru> 189525/. - Загл. с экрана.

7. Инструкция по сигнализации на железных дорогах Российской Федерации : утв. МПС РФ 26.05.2000 № ЦРБ-757 (в ред. Приказов МПС РФ от 03.07.2001 № 16, от 27.05.2002 № 24. - Электрон, текстовые дан. - Режим доступа: http://www.bestpravo.ru/rossijskoje/vr-instrukcii/a3g/page-2.htm. - Загл. с экрана.

8. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утв. приказом Минтранс РФ : приказ № 286 от 21 дек. 2010 г. - Электрон, текстовые дан. - Режим доступа: http ://www.opengost.ru/l 1986-prikaz-286-mintransa-rf-ot-21 -dekabrya-2010-g.-pravila-tehnicheskoy-ekspluatacii-zheleznyh-dorog-rf.html. - Загл. с экрана.

9. Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации : федер. закон Рос. Федерации от 10 янв. 2003 г. № 18-ФЗ : вступ. в силу 18 мая 2003 г. // Рос. газ. - 2003. - 18 янв. (Федер. вып. № 3122).

10. Организация работы АСУ «Комплекс программно-целевого имитационного моделирования траекторий транспортных потоков» в условиях ПТУ «Восточный Кузбасс» / Ю.Д. Приступа, И.Л. Сударева, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. ст. — Новокузнецк : СибГИУ ЗАО «Кузбас. ярмарка», 2012. - С. 238-247.

11. Приступа, Ю.Д. Организация электронного документооборота погрузочно-транспортных управлений ОАО «СУЭК-Кузбасс» /Ю.Д. Приступа, И.Л. Сударева, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов //Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. ст. - Новокузнецк : СибГИУ : ЗАО «Кузбас. ярмарка», 2012. - С. 234-238.

УДК 681.51

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

[1]к.э.н. Ивушкин К.А., [2]к.т.н. Грачев В.В., [2]д.т.н. Мышляев Л.П., [2]Циряпкина А.В., [2]Киселев С.Ф.
1 - ОК «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия
2 - ООО «Научно-исследовательский центр систем управления» г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Представлена обобщенная функциональная структура системы автоматизации управления современными обогатительными фабриками, информационное, программное и техническое обеспечение системы.

Ключевые слова: автоматизация управления, углеобогатительная фабрика, информационное, программное, техническое обеспечение.

Современная система автоматизации углеобогатительной фабрики (САУ ОФ) предназначена для комплексной автоматизации управления технологическими и производственными процессами углеобогатительной фабрики. Автоматизируется решение задач контроля и анализа текущих изменений условий по поставкам рядовых углей и отгрузке концентрата, состояния отдельных технологических комплексов и прогнозирования результатов их функционирования, оптимизации и оперативной согласованной коррекции плановых заданий на режимные параметры технологических процессов по стадиям и комплексам обогащения, оперативной реализации управляющих решений и регулирования технологических параметров [1, 2].

Основная **цель создания** САУ ОФ – это повышение эффективности управления производственными процессами и технико-экономических показателей производственного комплекса [3, 4], включая:

– увеличение выхода годного и сокращение потерь угля с отходами, снижение удельных затрат на производство;

– сокращение неплановых простоев технологического оборудования и затрат на ремонтно-восстановительные работы;

– снижение капитальных затрат на обеспечение диспетчерского контроля и управления;

– уменьшение затрат на текущее обслуживание системы

– сокращение временных и материальных затрат на модификацию функций системы и алгоритмов контроля и управления.

Укрупненная функциональная структура современной САУ ОФ представляет собой трехуровневую систему (рис. 1).

Верхний уровень функциональной структуры представлен системой автоматизации управления производственным комплексом (САУПК) фабрики, решающей задачи контроля, учета, анализа и планирования производственного процесса. Реализуется в виде совокупности, так называемых, автоматизированных рабочих мест (АРМ) производственно-управленческого персонала (главного инженера, технолога, энергетика, экономиста и пр.) по принадлежности в соответствии со штатным расписанием.

Средний уровень функциональной структуры включает в свой состав две системы:

– систему автоматизации управления производственными процессами (САУП);

– систему научно-инженерного сопровождения автоматизированного производственного комплекса (СНИС).

На нижнем уровне располагаются четыре достаточно автономные автоматизированные системы управления технологическими комплексами:

- углеприема и углеподготовки (САУ ТКУ);
- погрузки (САУ ТКП);
- I секции обогащения (САУ ТКО I);
- II секции обогащения (САУ ТКО II).

Рис. 1. Укрупненная функциональная структура современной САУ ОФ

Системой автоматизации управления производственным комплексом (САУПК) автоматизируются функции анализа, оперативного и долгосрочного планирования производственного процесса, включая:

– расчет технико-экономических показателей, анализа результатов и оценки эффективности функционирования автоматизированного технологического комплекса;

– анализ динамики изменений и прогнозирование характеристик обогащаемых рядовых углей и продуктов обогащения, затрат материально-энергетических ресурсов и выхода годного (потерь угля с породой), а также других технико-экономических показателей;

– оптимизацию технологических режимов и формирование сменно-суточных заданий на зольность концентрата, состав угольной шихты на обогащение, на технологические параметры по стадиям технологического процесса обогащения и на производительность каждой из секций технологического комплекса обогащения;

– анализ работы и состояния электроприводов, технологического и вспомогательного оборудования, планирование ремонтов и материально-технического обеспечения.

Системой автоматизации управления производственными процессами фабрики (САУП) автоматизируются функции оперативного контроля и управления технологическим комплексом фабрики:

– мониторинга состояний и результатов функционирования каждого автоматизированного технологического комплекса и обогатительной фабрики в целом на основе данных, поступающих из автоматизированных систем управления технологическими процессами, и с использованием видеоизображений технологических агрегатов, технологических узлов и производственных участков;

– прогнозирования динамики изменений характеристик продуктов обогащения и вариантов сменно-суточных заданий на состав угольной шихты для обогащения и на технологические режимы каждого из комплексов с учетом текущих изменений состояния, условий и результатов их функционирования, вариантов управляющих решений;

– формирования текущих заданий на состав угольной шихты на обогащение и на технологические режимы каждого из комплексов с учетом текущих изменений состояния, условий и результатов их функционирования.

Информация о сменно-суточных заданиях на состав угольной шихты на обогащение, технологические режимы и характеристики продуктов обогащения каждого из комплексов, ограничениях на интервалы их варьирования поступает из САУПК.

Решение задач прогнозирования динамики изменений характеристик продуктов обогащения и вариантов сменно-суточных заданий осуществляется с использованием методов и алгоритмов математического и натурно-математического имитационного моделирования сложных динамических систем, прогнозирования выходов и состояний объектов в системах управления. Алгоритмы формирования текущих заданий на состав угольной шихты на обогащение и технологические режимы каждого из комплексов строятся с учетом таких особенностей динамики объектов контроля и управления, как запаздывания и наличие рециклов, нестационарность динамических характеристик контролируемых и неконтролируемых возмущений.

Варианты решений по оперативной коррекции сменно-суточных заданий и соответствующие им прогнозируемые значения характеристик продуктов обогащения рассчитываются с учетом динамики изменений технологических параметров и характеристик продуктов обогащения и представляются в табличной и графической форме.

Решения о реализации конкретного из предлагаемых вариантов оперативных согласованных корректировок сменно-суточных заданий на состав угольной шихты на обогащение и технологические режимы каждой из секций комплекса обогащения принимаются технологическим персоналом. Эти решения в виде скорректированных сменно-суточных заданий на состав угольной шихты на обогащение и технологические режимы каждого из комплексов передаются для реализации в автоматизированные системы управления технологическими процессами соответствующих технологических комплексов.

Основной режим функционирования системы – информационно-советующий.

Система научно-инженерного сопровождения (СНИС) автоматизированного производственного комплекса состоит, в свою очередь, из двух систем:

–системы исследований и испытаний;

–системы инженерного сопровождения САУ.

Система исследований и испытаний обеспечивает инструментальную поддержку технологических исследований, испытаний и отладки алгоритмов управления технологическими процессами, включая накопление, анализ и классификацию данных о технологических режимах и параметрах, идентификацию объектов контроля и управления, имитационное математическое и полунатурное моделирование систем управления.

Система инженерного сопровождения САУ предназначена для инструментальной поддержки существующего и проектирования дополнительного информационного и программного обеспечения контроллеров и рабочих станций операторов технологических комплексов в процессе поиска рационального технологического регламента, наладки, последующего развития и модернизации САУ.

Системы автоматизации управления технологическими комплексами (САУ ТК) углеприема, обогащения, погрузки строятся как двухуровневые системы.

На верхнем уровне обеспечивается взаимодействие оператора соответствующего технологического комплекса и программно-аппаратных средств системы – управление и мониторинг состояний и результатов функционирования основного и вспомогательного оборудования этого технологического комплекса. *Нижний уровень* каждой из этих систем представляет собой распределенную систему, состоящую из систем локальной автоматики отдельных агрегатов и оборудования и системы технологического контроля и управления комплексом.

САУ ТК выполняют следующие основные информационные и управляющие функции: контроль, диагностику и отображение информации о состоянии технологических процессов, поточно-транспортного и технологического оборудования и агрегатов, вспомогательного оборудования и систем, включая:

– централизованное отображение результатов контроля, диагностики и управления оперативному персоналу, как в обобщенном виде, так и с требуемой степенью детализации;

– регистрация результатов контроля, диагностики и управления, действий оперативного персонала;

– дистанционное видеонаблюдение технологических агрегатов, узлов и участков;

– автоматическое и дистанционное управление поточно-транспортным и технологическим оборудованием (плановый пуск/останов и переключение) с соблюдением заданного технологического регламента и блокировок оборудования, аварийный автоматический останов технологического комплекса;

– автоматическое регулирование режимов технологических процессов.

Распределение функций контроля и управления между программно-аппаратными средствами системы и оперативным персоналом определяется выбранным режимом функционирования системы. В современной САУ ОФ предусматривается три режима управления:

Основной режим – «Автоматический». Все функции контроля и управления выполняются автоматически.

Вспомогательный режим – «Дистанционный». Все информационные и управляющие функции, за исключением планового пуска/останова и переключения технологических схем, выполняются автоматически.

Наладочный режим – «Местный». Все информационные функции выполняются автоматически. Все управляющие функции выполняются производственным персоналом с местных постов управления.

Укрупненная схема технической структуры современной САУ ОФ приведена на рис. 2.

Операторские станции главного диспетчера (САУП) и автоматизированных систем управления технологическими процессами комплексов углеприема (САУ ТКУ), погрузки (САУ ТКП), обогащения (САУ ТКО I, САУ ТКО II), инженерная станция и АРМ’ы базируются на персональных компьютерах, объединенных между собой сетью Ethernet (Fast/Gigabit Ethernet). Физической основой сети Ethernet является оптоволокно и «витая пара» 5-ой категории. Отображение информации главному диспетчеру осуществляется на жидкокристаллических мониторах с диагональю 40”.

Операторские станции технологических комплексов обогащения (САУ ТКО I, САУ ТКО II), погрузки и углеприема комплектуются жидкокристаллическими мониторами с диагональю 24”.

Операторские пункты всех технологических комплексов и рабочее место главного диспетчера оснащаются системами промышленного теленаблюдения на базе системы цифрового видеонаблюдения.

В качестве среды транспортировки видеосигнала система видеонаблюдения не требует дополнительных каналов, а использует ту же сеть Ethernet, по которой осуществляется обмен информацией между компонентами САУ. При этом вся оцифрованная информация с видеокамер хранится заданный промежуток времени на сервере промышленного телевидения (видеорегистраторе).

Нижний уровень САУ ТК строится с использованием программируемых логических контроллеров ведущих мировых производителей, например Omron, Schneider Electric, Siemens.

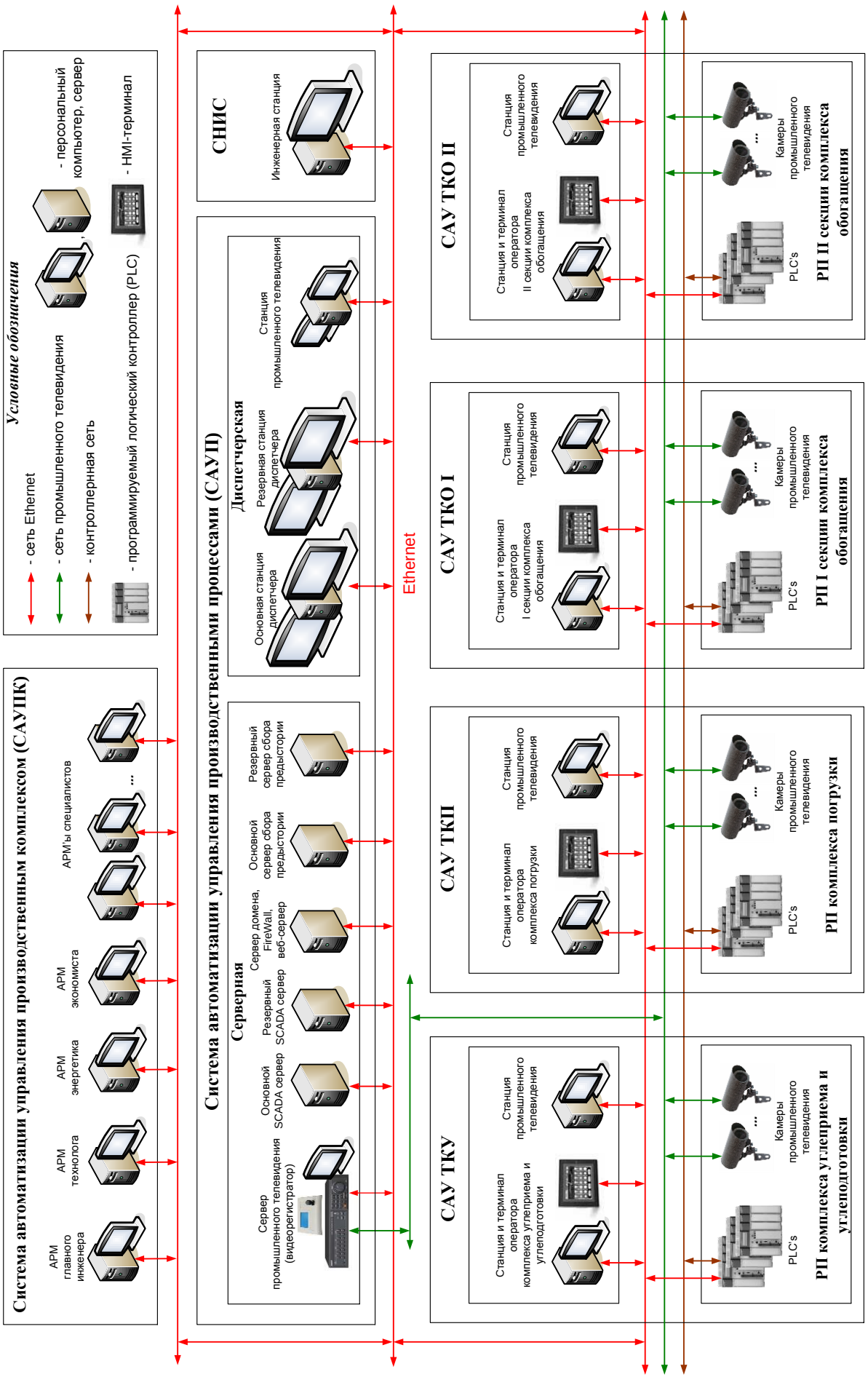


Рис. 2. Укрупненная схема технической структуры современной САУ ОФ

Функциональные возможности и технические характеристики этих контроллеров в полной мере соответствуют задачам их применения в САУ технологическими процессами обогатительной фабрики, что подтверждается опытом эксплуатации существующих САУ обогатительных фабрик и других промышленных объектов. Современные контроллеры характеризуются высокой надежностью (гарантийные обязательства производителей и поставщиков составляют до 3 лет) и сравнительно невысокими ценами, позволяют проще и с меньшими затратами решать организационно-технические вопросы сопровождения и развития САУ.

Как правило, системы контроля и управления технологическими комплексами реализуются на программируемых логических контроллерах средней мощности, обеспечивающих:

– прием дискретных и аналоговых сигналов измерительной информации от датчиков и систем измерения технологических параметров;

– обмен информацией с контроллерами систем локальной автоматики агрегатов и системами измерения, контроля и регулирования, устройствами защиты оборудования по стандартному интерфейсу RS-422/485;

– обмен информацией между контроллерами смежных систем контроля и управления технологическими комплексами по специализированной контроллерной сети и по сети Ethernet;

– обмен информацией с операторскими станциями по стандартному интерфейсу RS422A и по сети Ethernet.

Заложенные технические решения обеспечивают:

– скоростной высоконадежный обмен информацией между контроллерами систем управления технологическими комплексами по специализированной сети, что гарантирует реализацию необходимых взаимных блокировок технологического оборудования, управляемого разными контроллерами без сигнальных связей между ними. Это немаловажно при территориально распределенной системе и значительной удаленности контроллеров друг от друга с точки зрения экономии кабельной продукции;

– доступ к любой из рабочих станций по сети Ethernet к данным, формируемым в каждом из контроллеров, что обеспечивает, при необходимости, возможность контроля и управления любым технологическим комплексом из центрального диспетчерского пункта как с рабочих станций главного диспетчера, так и с рабочих станций технологических комплексов. Таким образом, обеспечивается взаимозаменяемость рабочих станций при оперативном управлении технологическими комплексами при отказе любой из них;

– обмен информацией между контроллерами системы управления технологическим комплексом и локальной рабочей станцией в каждой системе нижнего уровня по интерфейсу RS422A, что обеспечивает разгрузку общей сети Ethernet и работоспособность системы управления технологическим комплексом при отказах других сетей.

В качестве базового программного обеспечения операторских и диспетчерских станций для обеспечения графического интерфейса используется SCADA-система [5], как правило, одного из ведущих мировых производителей, например, Wonderware (США), Iconics (США), Schneider Electric (Франция). SCADA-система функционирует на базе операционной системы Windows в режиме «мягкого» реального времени.

Информационное обеспечение современной САУ ОФ, разработанное с помощью SCADA-системы, представляется на мониторах диспетчера посредством мнемосхемы (рис. 3), состоящей из верхней, основной и нижней областей [6]. Верхняя область (фрагмент 1 рис. 3) содержит панель инструментов для навигации, меню вызова дополнительных видеокадров и всплывающих окон, а также элементы авторизации пользователей и диагностики связи с контроллерами. В нижней области (фрагмент 3 рис. 3) расположена панель тревог для отображения в реальном масштабе времени всех тревог и событий, сконфигурированных в системе.

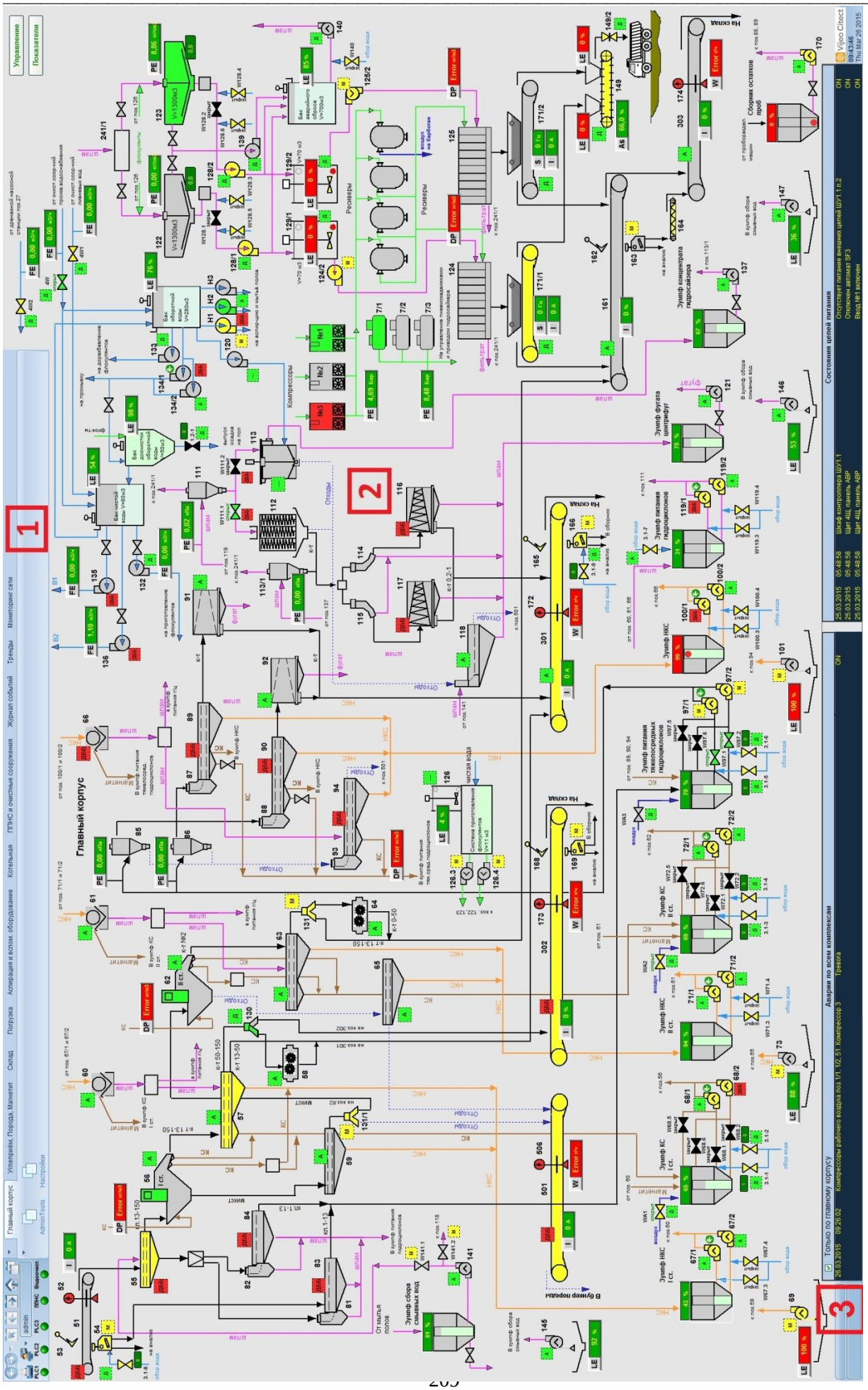


Рис. 3. Мнемосхема монитора диспетчера ОФ

В основную область (фрагмент 2 рис. 3) первоначально (при загрузке системы) помещается основной видеокадр, отображающий технологическое оборудование, схему материальных потоков главного корпуса, а также кнопки «Управление» и «Показатели». При необходимости в основную область могут быть помещены следующие дополнительные видеокадры:

– «Углеприем, Порода, Магнетит», отображающий технологическое оборудование и схему материальных потоков комплексов углеприема и углеподготовки, бункера породы, склада магнетита;

– «Склад товарной продукции», отображающий технологическое оборудование и схему материальных потоков комплексов открытого и закрытого складов концентрата;

– «ППНС и очистные сооружения», отображающий технологическое оборудование и схему материальных потоков комплексов противопожарной насосной станции и очистных сооружений;

– «Тренды» для отображения в виде графиков изменение наиболее важных технологических переменных и данных сигналов тревог;

– «Журнал событий» для работы с текущими и архивными событиями и тревогами, зафиксированными в системе.

Обобщенное отображение информации о текущем состоянии любого агрегата комплекса осуществляется в соответствии с признаками, формируемыми в системе управления технологическим комплексом по результатам контроля, во-первых, посредством цветовой индикации мнемонического изображения этого агрегата, во-вторых, текстом в поле информационного табло всплывающего окна.

Детальная информация о текущем состоянии агрегата, причинах его неготовности или аварии дается в виде текстовых сообщений на всплывающих диагностических окнах. Текстовые сообщения (аварийные или предупреждающие признаки) выделяются черным цветом на фоне прочих сообщений, а пиктограмма слева от текста загорается красным цветом для привлечения внимания диспетчера о нарушении работы оборудования.

Современная САУ ОФ вводится в эксплуатацию за очень короткий срок – 12-15 месяцев, при стандартном сроке строительства в 3 года. Это стало возможным, за счет параллельного, одновременного выполнения таких работ как проектирование, заказ и поставка оборудования, строительство, монтаж оборудования, его пуско-наладка. Представленная в статье концепция современной САУ ОФ может служить прототипом для большинства проектируемых и реконструируемых углеобогатительных фабрик. Многие программно-технические решения с незначительными корректировками можно использовать для создания САУ предприятиями горной отрасли.

Работа поддержана грантом РФФИ по проекту №15-07-01972

Список литературы

1. Сазыкин Г.П. Проектирование и строительство углеобогатительных фабрик нового поколения/ Г.П. Сазыкин, Б.А. Синеокий, Л.П. Мышляев. – Новокузнецк: СибГИУ. – 126 с.

2. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода. Т.2. Системы автоматизации производственного назначения / Под. ред. Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: Наука, 2006. – 483 с.

3. Алгоритмы и системы автоматизации управления объектами угольной промышленности. Монография / А.А. Ивушкин, Л.П. Мышляев, К.Г. Венгер и др. // Новокузнецк: СибГИУ, 2008. – 116 с.

4. Планирование создания и испытание автоматизированных промышленных комплексов (на примере углеобогатительных фабрик): учеб. пособие / А.А.Ивушкин, В.В. Грачев, Л.П. Мышляев, К.Г. Венгер; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2012. – 105 с.

5. Грачев В.В. Программное обеспечение систем автоматизации управления промышленными комплексами / В.В. Грачев, М.В. Шипунов // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника в металлургической и горно-топливной отраслях: Труды Шестой Всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: СибГИУ, 2014. – С. 226 – 232.

6. Шипунов М.В. Информационное обеспечение систем управления углеобогатительными фабриками/ М.В. Шипунов, К.А. Ивушкин, В.В. Грачев, А.В. Циряпкина // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды IX Всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 135-141.

УДК 681.51.015

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ИСПЫТАНИЯ И НАСТРОЙКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ УСТАНОВКИ СЖИГАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА)

[1]д.т.н Мышляев Л.П., [2]д.т.н. Ивушкин А.А., [1]д.т.н. Евтушенко В.Ф., [3]д.т.н Бурков В.Н., [1]Макаров Г.В., [1]Буркова Е.В.
1 − Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
2 – ООО Объединенная компания «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия
3 – Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены особенности и условия применения физических моделей в задачах испытания и настройки систем управления на стадии их создания. По результатам модельных и натурно-модельных исследований подтверждена эффективность полученных результатов.

Ключевые слов: система управления, физическая модель, испытание и настройка, подобие систем управления, управление подобием систем, натурно-модельные исследования.

Эффективное решение задач испытания и настройки систем управления на стадии их создания достигается при использовании аналогов натурных систем, включающих действующие физические модели объектов управления. При этом необходимо установление соответствия между натурной системой и ее аналогом. Такое соответствие обеспечивает и возможность адекватного переноса результата испытаний и настройки модельной системы управления на натурную. В [1] показано в каком случае натурная и модельная системы управления должны быть подобны. Основные понятия и условия подобия систем управления приведены в [2-3].

Натурные объекты управления характеризуются, как правило, изменчивостью свойств преобразований входных воздействий, да и самих этих воздействий. В этих условиях нарушается также и первоначально существовавшее подобие систем управления и перенос результатов с модельной на натурную систему становится не обоснованным. Поэтому необходимо наносить целенаправленные воздействия на модельную систему и ее элементы, в том числе и на внешние воздействия, изменяя динамические свойства каналов преобразования физической модели объекта управления, и (или) влияющих на нее внешних воздействий. Процесс такого целенаправленного воздействия на систему управления в целом и ее отдельные элементы будем называть управлением подобием систем [4].

Укрупненную схему испытаний и настройки натурной системы, в частности, системы автоматического регулирования (САР) с управляемым обеспечением условий по-

добия, при параллельном функционировании натурной и модельной систем можно представить с помощью следующих операций.

1. Оценивание степени подобия модельной и натурной систем управления. В основу расчета степени подобия, с помощью которого количественно оценивают близость этих систем друг к другу с точки зрения их подобия, положено следующее утверждение.

Под степенью подобия систем управления будем понимать количественную меру близости характеристик критериев эффективности управления этими системами [2].

В частности, такой количественной мерой может служить коэффициент корреляции между целевыми показателями, отражающими эффективность функционирования этих систем. Аналогичный показатель лежит в основе метода коррелированных процессов, изложенного в [5], где предлагается осуществлять «установление степени соответствия исходной и упрощенной систем по корреляционным моментам статистических значений вероятностных характеристик» этих систем.

2. Управление подобием [4] модельной и натурной систем при существенном отличии их свойств и условий функционирования за счет целенаправленного воздействия на динамические свойства каналов преобразования физической модели объекта управления и (или) действующих на нее внешних возмущений. Такого типа управление осуществляется до тех пор, пока системы не будут удовлетворять условиям подобия.

3. Текущая настройка модельной системы управления в тех случаях, когда существенные изменения свойств внешних возмущений и (или) каналов их преобразования объекта управления приводит к потери подобия систем и, соответственно, к потери эффективности их функционирования.

4. Пересчет результатов настройки на натурную САР.

5. Оценка эффективности результатов.

Ниже приведены постановка задачи исследования подобия типовых САР, описание процедуры моделирования и результаты исследования, которые для конкретных свойств и условий функционирования типовых САР позволили бы определить условия подобия рассмотренных структур САР, получить соответствующие соотношения для пересчета результатов настройки с модельной на натурную систему и оценить их эффективность. Модельные и натурно-модельные исследования проводили с использованием данных, характеризующих работу установок сжигания водоугольного топлива и приведенных в [6, 7].

Постановка задачи исследования

Дано. 1. Две САР по отклонению при наличии действующих на объект неконтролируемых возмущений, каждая из которых имеет одинаковую структуру, соответствующую рис. 1.

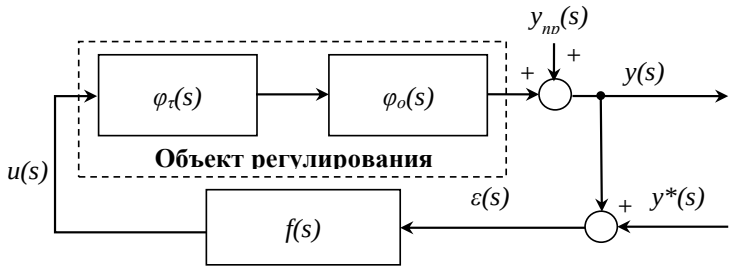


Рис. 1. Структура САР по отклонению

На рис. 1 приняты следующие обозначения: $u(s)$ – регулирующее воздействие, $y_{пр}(s)$ – приведенные к выходу возмущения, $y(s)$ – выходное воздействие, $y^*(s)$ – задающее воздействие, $\varepsilon(s)$ – ошибка регулирования, $\varphi_т(s)$ – оператор звена запаздывания, $\varphi_о(s)$ – оператор объекта управления без запаздывания.

2. Математические модели канала преобразования регулирующих воздействий представлены в операторной форме в виде следующих выражений

$$\varphi(s) = \frac{k}{Ts+1} \cdot e^{-\tau s}, \quad (1)$$

где k – коэффициент передачи, T – постоянная времени инерции, τ– время чистого запаздывания канала преобразования регулирующих воздействий.

3. Приведенные к выходу объекта возмущения представлены в виде аддитивной композиции случайной и детерминированной составляющих (модельный случай). Случайная составляющая – стационарный процесс с нулевым математическим ожиданием, постоянной дисперсией и автокорреляционной функцией (АКФ), спадающей по экспоненте

$$r_{np}(\theta) = \sigma_{np}^2 \cdot e^{-\alpha \cdot |\theta|}, \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{пр}}^2$ – дисперсия приведенного возмущения, α – коэффициент спада АКФ, θ – время сдвига между сечениями ряда приведенных возмущений.

Детерминированную компоненту представляли в виде ступеньки, линейного тренда и периодической составляющей.

При использовании натурно-модельных данных исходные реализации приведенных возмущений оценивали по данным работы установок сжигания водоугольного топлива [7].

4. Законы регулирования.

4.1. Оптимальный по среднеквадратичному критерию закон регулирования с передаточной функцией согласно [8]

$$f_{опт.}(s) = \frac{e^{-\alpha\tau}}{1 - e^{-\alpha\tau} \cdot e^{-\alpha\tau}} \frac{1}{\varphi_o(s)}. \quad (3)$$

4.2. ПИ-закон регулирования для модели объекта, представленного выражением (1), с передаточной функцией

$$f_{ПИ}(s) = k_П + \frac{k_И}{s}; \quad (4)$$

$$k_П = \frac{T}{k \cdot \tau},\ k_И = \frac{k_П}{T}, \quad (5)$$

где $k_П$ и $k_И$ − коэффициенты при пропорциональной и интегральной части регулятора.

Для расчета использовали рекуррентно-разностные выражения, полученные из (1, 3, 4) методом *Z*-преобразования.

5. Начальные условия

$$y_u(0) = 0;\ u(0) = 0;\ y_{np}(0) = 0;\ y^* = 0. \quad (6)$$

Начальные значения параметров закона регулирования (4) выбирали из соотношений (5).

6. Среднеквадратичный критерий точности регулирования

$$q = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N} [y^*(i) - y(i)]^2, \quad (7)$$

где N – интервал моделирования.

Предельная динамическая точность регулирования для САР с оптимальным регулятором (3) соответствует выражению [8]

$$q = \sigma_{np}^2 (1 - e^{-2\alpha \cdot \tau}) \quad (8)$$

7. Ограничения.

7.1. Условие эффективности функционирования САР, выраженное неравенством

$$q < \gamma \cdot \sigma_{np}^2, \quad (9)$$

предполагая при этом, что коэффициент γ принимает значения в интервале от 0 до 1.

7.2. Условие воспроизводимости реализаций возмущений при зафиксированных (постоянных) значениях дисперсии $\sigma_{пр}^2$ и коэффициента α АКФ приведенных возмущений, выраженное через целевой критерий эффективности САР

$$\left| q_j^н - q_i^н \right| \le 0{,}02, \tag{10}$$

где $q^н$ – нормированные значения критерия, определенные как отношения текущих значений к средневыборочному.

7.3. Время Θ_s спада нормированной АКФ приведенного возмущения определяется $\Theta_s = \Theta$ при $r(\Theta)$=0,3.

7.4. Приближенное равенство целевых критериев эффективности подобных САР выражается соотношением

$$\left| q_j^н - q_i^н \right| \le 0{,}05\,. \tag{11}$$

Требуется:

1. Сформировать условия подобия рассмотренных типовых систем регулирования.
2. Определить соотношения для пересчета результатов настройки с модельной на натурную САР и оценить их эффективность.

В соответствии с требованиями исследования проводили в 2 этапа.

1. Определение условий подобия рассматриваемых САР

Формирование модельных значений динамического ряда приведенных к выходу объекта возмущений осуществляли с помощью генератора, представленного в виде замкнутой динамической системы [9]. Значения параметров модели приведенных возмущений $\sigma_{пр}^2$=1; 0,01≤α≤0,4.

Интервал моделирования I=25000 с. Шаг дискретизации по времени Δt=1с. Значения коэффициента по α меняли с шагом дискретизации $\Delta\alpha$=0,01.

Область изменения значений параметров модели преобразующих каналов объекта выбирали с учетом диапазонов их изменения

$$k=const=1; \quad 10\le T\le 500; \quad 1\le\tau\le 50; \ \frac{\tau}{T}=const=\frac{1}{10}; \ \Delta t=1c.$$

В процессе численных экспериментов определяли условия подобия для систем с оптимальным и ПИ-законами регулирования. Для САР с оптимальным законом регулирования их находили аналитически с учетом выражений (8) и (9). Полученное соотношение имеет следующий вид

$$\left|\sigma_{пр1}^2(1-e^{-2\alpha_1\tau_1})-\sigma_{пр2}^2(1-e^{-2\alpha_2\tau_2})\right| \le 0{,}05, \tag{12}$$

Для систем с ПИ-законом регулирования условия подобия определены по результатам численного моделирования и применения поисковых процедур [10], в процессе которых значения параметров моделей приведенных возмущений и каналов преобразования регулирующих воздействий выбирали из области эффективной работы систем. Полученные результаты приведены ниже в виде выражений, определяющих степень близости значений параметров моделей приведенных возмущений и канала преобразования регулирующих воздействий

$$\begin{cases} \left|\sigma_{пр1}-\sigma_{пр2}\right| \le 0{,}05, \\ \left|\alpha_{пр1}\cdot\tau_{u1}-\alpha_{пр2}\cdot\tau_{u2}\right| \le 0{,}05, \\ \left|\dfrac{\tau_{u1}}{T_{u1}}-\dfrac{\tau_{u2}}{T_{u2}}\right| \le 0{,}05. \end{cases} \tag{13}$$

2. Определение соотношений для пересчета результатов настройки САР и оценка их эффективности

Исследования проводили в условиях, приближенных к реальным, с использованием натурно-модельных данных, для которых в качестве исходных были взяты данные, характеризующие работу двух установок по сжиганию водоугольного топлива [7]. Эти данные отражают нестационарные условия работы обеих установок, которые приводят к изменению как динамических свойств приведенных к выходу возмущений, так и каналов преобразования регулирующих воздействий. Области изменений значений параметров модели объектов регулирования по каналу преобразования «изменения расхода водоугольного топлива – изменения температуры в топке печи» («$\Delta Q_т \rightarrow \Delta T°C$») приведены ниже в виде следующих диапазонов

$$3{,}8 \le k_1 \le 7{,}0;\ 151 \le T_1 \le 213;\ 12 \le \tau_1 \le 30; \qquad (14)$$
$$3{,}1 \le k_1 \le 5{,}7;\ 103 \le T_1 \le 192;\ 8 \le \tau_1 \le 27.$$

Рассчитанные по этим данным оценки средних уровней $y_{ср1}$, $y_{ср2}$ и среднеквадратических отклонений $\sigma_{вых1}$ и $\sigma_{вых2}$ приведенных к выходу возмущений изменялись в следующих интервалах

$$3{,}7 \le \sigma_{вых1} \le 22{,}5°C;\ 1{,}0 \le y_{ср1} \le 4{,}3°C; \qquad (15)$$
$$2{,}5 \le \sigma_{вых1} \le 19{,}4°C;\ 0 \le y_{ср1} \le 3{,}1°C.$$

Установку, параметры которой имеют подстрочный индекс 1, отождествляли с натурным объектом регулирования, а с подстрочным индексом 2 – с ее физической моделью.

Структура систем регулирования температуры рабочего пространства обеих установок соответствует схеме рис. 1, модель преобразующих каналов – выражению (1), закон регулирования – выражению (4).

На рис. 2 в качестве примера представлены по одному участку натурных реализаций приведенных к выходу возмущений и их нормированные АКФ $r_{1пр}(\theta)$ и $r_{2пр}(\theta)$, соответственно, для первой (рис. 2а) и второй (рис. 2б) установок.

Рассматриваемые системы регулирования температуры в печи не являются подобными, что подтверждают данные, характеризующие динамические свойства каналов преобразования регулирующих воздействий и приведенных возмущений (см., например, рис. 2). Поэтому на имитационном моделирующем комплексе было реализовано управление подобием систем путем целенаправленного изменения свойств приведенных возмущений, в результате чего были получены натурно-модельные реализации приведенных возмущений, которые для установок 1 и 2 представлены в качестве примера на рисунках 3а и 3б. Здесь же даны их нормированные АКФ, динамические свойства которых характеризуются следующими значениями параметров: α_1=0,013, α_2=0,017 и $\sigma_{вых1} = \sigma_{вых2}$.

Таким образом, целенаправленные воздействия на свойства приведенных возмущений позволили выполнить условия подобия (13) и, соответственно, считать рассматриваемые системы регулирования температуры подобными.

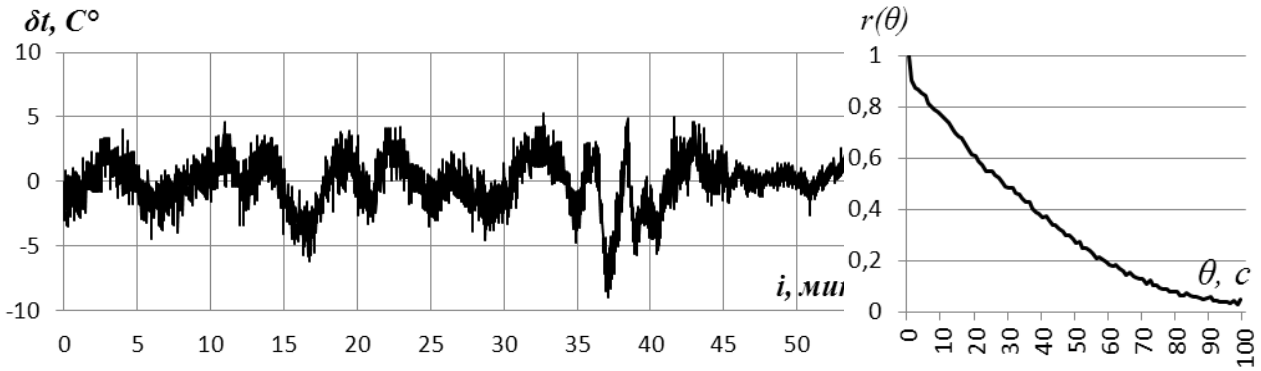
Путем натурно-модельных исследований с использованием поисковых процедур и натурно-модельных данных, с учетом подобия систем и областей их эффективного функционирования были получены следующие соотношения пересчета значений параметров настройки модельной САР на натурную

$$k_{И1} = k_{И2} \cdot \frac{k_1 \tau_1 T_2}{k_2 \tau_2 T_1} \cdot e^{\frac{1}{\beta}(\cdot\alpha_1 \cdot \tau_1 - \alpha_2 \cdot \tau_2)}; \qquad (16)$$

$$k_{И1} = K_{И2} \cdot \frac{y_{ср} k_2 \tau_2}{y_{ср} k_1 \tau_1} \cdot e^{\frac{1}{\beta}(\cdot\alpha_1 \cdot \tau_1 - \alpha_2 \cdot \tau_2)}. \qquad (17)$$

При этом результаты численных исследований показали, что параметр β зависит от соотношения $\frac{\tau}{T}$ и принимает, например, для $\frac{\tau_1}{T_1} = \frac{1}{10}$ значение, равное 0,4.

а)



б)

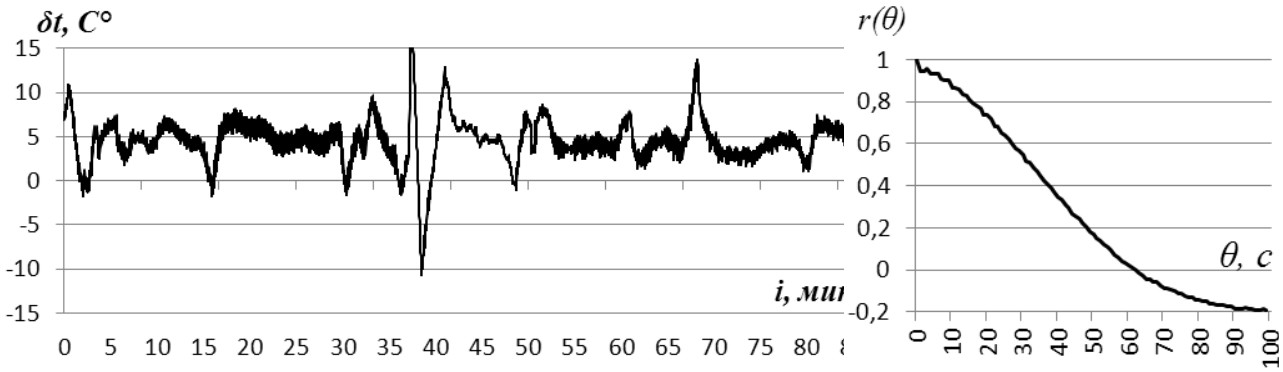
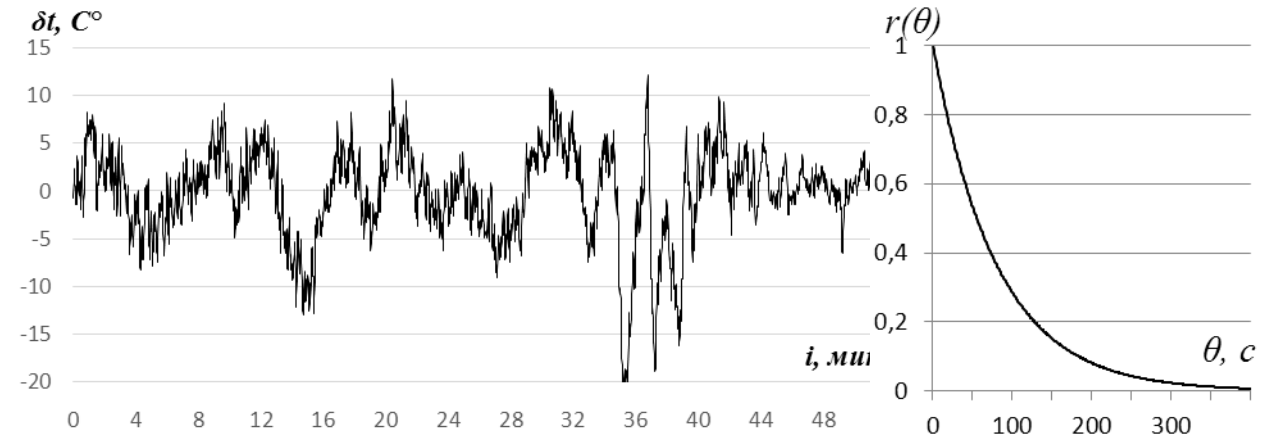


Рис. 2. Реализации приведенных к выходу натурных возмущений для первой (а) и второй (б) установок и их нормированные АКФ

а)



б)

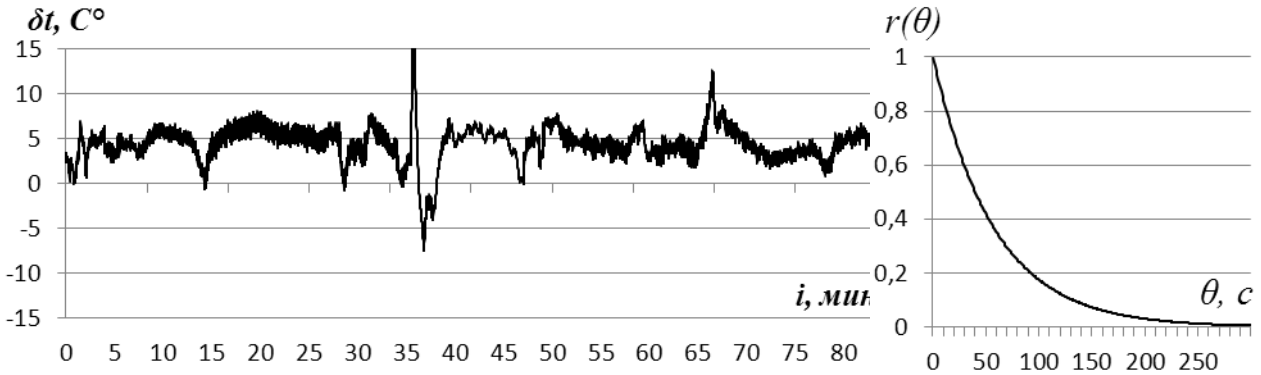


Рис. 3. Реализации приведенных к выходу натурно-модельных возмущений для первой (а) и второй (б) систем управления и их нормированные АКФ

Для оценки эффективности применения соотношений (16) и (17) пересчета значений параметров ПИ-закона регулирования $k_{П}$ и $k_{И}$ с модельной системы на натурную, а также текущей настройки САР были проведены специальные численные эксперименты на модельной системе с использованием натурно-модельных реализаций приведенного возмущения.

Исследования проводили по следующей схеме. Настроив приближенно первую систему по методу [8] и найдя ее оптимальные настройки численными методами, оценивали показатели качества регулирования системы. При зафиксированных значениях параметров модели канала преобразования управляющих воздействий и характеристик приведенных к выходу возмущений оценивали значения критерия q_1 без изменения параметров закона регулирования.

Затем, установив подобие первой и второй САР, находили оптимальные значения параметров закона регулирования для второй системы и рассчитывали значения $k_{П2}$ и $k_{И2}$ по соотношениям (16) и (17) для первой, после чего снова оценивали качество. Полученные результаты частично представлены в таблице, из которой видно, что модуль отклонений $\Delta q = |y_1 - y_2|$ не превышает пороговых значений, установленных соотношением (11), что позволяет считать текущую настройку САР в процессе ее функционирования – эффективной, а полученные соотношения (16) и (17) пригодными для дальнейшего использования в исследованных условиях. В то же время без текущей настройки САР потери эффективности в исследованных условиях превышают 20% от первоначальных значений.

Таблица

Значения параметров модели системы регулирования

№ опыта	Параметры системы					Без настройки		С настройкой	
	α, c^{-1}	$\sigma_{пр}$	k, *л/ч*	T, *с*	τ, *с*	q_y	Δq	q_y	Δq
1	0,0126	5,2	5,4	182	18	3,77	2,50%	3,77	2,50%
2	0,0073	*1,5*	6,2	156	16	1,31	17,33%	1,11	4,00%
3	0,0132	*3,6*	4,8	143	14	3,23	19,72%	2,65	3,61%
4	0,0126	5,2	7,0	182	18	4,70	20,38%	3,70	1,15%
5	0,0126	5,2	3,8	201	20	4,35	13,65%	3,72	1,54%

Заключение

1. Процедуру испытания и настройки натурных систем управления с применением их физических моделей целесообразно использовать в условиях нестационарности объектов управления и внешних возмущений, в том числе и неконтролируемых.

2. Наряду с традиционно применяемыми методами эта процедура должна включать еще и оценивание степени подобия модельной и натурной систем управления, управление подобием систем, а также пересчет результатов настройки модельной на натурную систему и оценку их эффективности.

3. Близость модельной и натурной систем управления целесообразно оценивать с использованием показателей степени подобия.

4.Управление подобием модельной и натурной систем необходимо осуществлять путем целенаправленного воздействия на свойства модельной системы управления в целом, отдельных ее элементов, в том числе и внешних воздействий.

5. Пересчет значений параметров настройки модельной системы на натурную необходимо осуществлять только при выполнении условий подобия модельной и натурной систему управления.

Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 15-07-01972

Список литературы

1. Мышляев Л.П. Подобие систем в задачах управления / Л.П Мышляев, В.Ф Евтушенко, К.А Ивушкин, Г.В Макаров, Д.Г Березин // Вестник Сибирского государственного индустриального университета, 2012. - №2 - С. 41-43.

2. Мышляев Л.П. Понятия и условия подобия систем управления / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, Д.Г. Березин, Г.В. Макаров. К.А. Ивушкин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2012 - №12. - С. 58-60.

3. О динамическом подобии систем управления / Мышляев Л.П., В.Ф. Евтушенко, Д.Г. Березин, Г.В. Макаров // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве : тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф., / под ред. д.т.н. проф. С.М. Кулакова, д.т.н. проф. Л.П. Мышляева; СибГИУ. - Новокузнецк, 2011. - С. 34-36.

4. О подобии натурной и модельной систем при управлении с физической прогнозирующей моделью / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, К.А. Ивушкин, Г.В. Макаров // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2013 - №12. - С. 40-42.

5. Пугачев В.Н. Комбинированные методы определения вероятностных характеристик. / В.Н. Пугачев. М.: Сов. Радио, 1973. – 256 с.

6. Исследование влияния параметров водоугольного топлива на показатели теплового режима вихревой топки // К.А. Ивушкин, В.Ф. Евтушенко, Л.П. Мышляев, К.Г. Венгер // Уголь, 2012. - № 11. - С.38-39.

7. Исследование совместного влияния свойств возмущений и динамики объектов на эффективность регулирования (на примере установки сжигания водоугольного топлива) / В.Ф Евтушенко, Г.В. Макаров, Л.П. Мышляев, К.А. Ивушкин, Е.В. Буркова // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 189−193.

8. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. / В.Я. Ротач. М.: Энергия, 1973. – 439 с.

9. Генератор модельных воздействий с заданными свойствами как замкнутая динамическая система/ Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, Г.В. Макаров, Е.В. Буркова // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, г. Кемерово, 16-17 октября 2014 г.; Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева. – Кемерово, 2014. - С.402-403.

10. Рыков А.С. Методы системного анализа: оптимизация / А.С. Рыков. – М: НПО «Изд-во «Экономика», 1999. – 255 с.

УДК 681.5.01

К ПРОБЛЕМЕ СОВМЕСТНОГО СИНТЕЗА ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПОДСИСТЕМЫ

[1]к.т.н. Ляховец М.В., [1]д.т.н. Мышляев Л. П., [2]к.т.н. Венгер К. Г., [2]Леонтьев И. А.
1 - Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия
2 - ЗАО «Стройсервис»,
г. Кемерово, Россия

Аннотация. Предложен новый подход к построению систем управления, заключающийся в совместном синтезе объекта управления и управляющей подсистемы. Рассмотрен пример использования традиционного подхода проектирования на примере технологической схемы отгрузки угольного концентрата с крытого склада обогатительной фабрики.

Ключевые слова: система управления, синтез систем управления, промышленный объект управления, управляющая подсистема, алгоритм управления, автоматизация.

В настоящее время проводятся работы по разработке технологии совместного синтеза объекта управления и управляющей системы [1]. В отличие от традиционных методов синтеза систем управления, заключающихся в последовательном проектировании промышленных комплексов – сначала технологическая схема (объект управления), затем подсистема управления, совместный синтез позволяет достичь выполнения требований к динамическим свойствам системы управления уже на стадии их проектирования, уменьшив как затраты на проектирование управляющей подсистемы, так и степень её сложности. При использовании последовательного проектирования на подсистему управления возлагается достижение требуемых свойств всей системы управления, что чаще всего приводит либо к значительному усложнению управляющей подсистемы, либо даже к невозможности получения требуемого свойства всей системы. Это, в свою очередь, приводит при дальнейшем функционировании промышленного объекта к определенным материальным потерям.

На текущий момент не известны сведения о применении совместного синтеза на практике. В первую очередь, это обусловлено специфическими исторически сложившимися особенностями взаимодействия заказчиков и проектировщиков. Поэтому на этапе проектирования технологического объекта никто из субъектов, задействованных в проектировании, не принимает во внимание управляемость объектом. Такого рода примеры встречаются достаточно часто. Например, на обогатительной фабрике «Матюшинская» при проектировании технологической схемы отгрузки продуктов обогащения, уложенных в пяти штабелях вдоль сборного конвейера, предусмотрена подача материала на конвейер из каждого штабеля соответствующей группой питателей. Причем питатели объединены по способу управления их работой – частотными преобразователями. Иными словами, один частотный преобразователь может управлять одновременно работой нескольких (от одного до трех) питателей. Для контроля процесса отгрузки продуктов обогащения используются пять конвейерных весоизмерительных устройств (по количеству штабелей отгружаемых продуктов), обеспечивающих измерение погонной нагрузки на ленту сборного конвейера за каждым из штабелей (по направлению движения ленты сборного конвейера).

Структурная схема объекта, отражающая топологию размещения штабелей отгружаемых продуктов обогащения с расположением соответствующих групп питателей и весоизмерительных устройств представлена на рисунке.

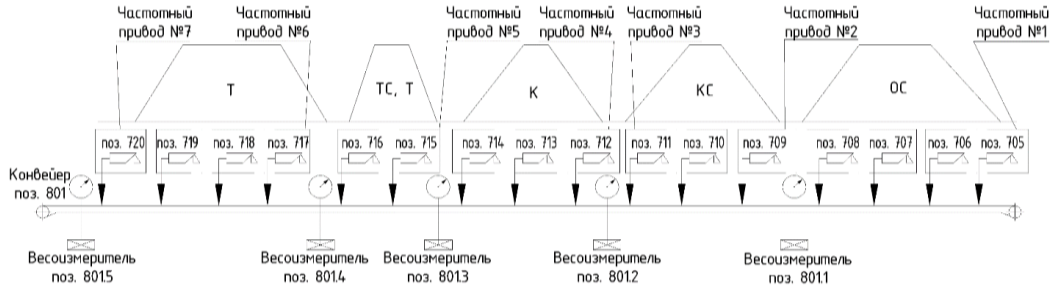


Рис. Структурная схема объекта управления

Выбранный способ управления питателями на момент проектирования и ввода в действие фабрики показал себя работоспособным и достаточно бюджетным при сравнительно небольших затратах на управляющую систему. Дальнейшее развитие технологического объекта привело к необходимости создания автоматизированной системы контроля, учета и управления дозированием отгружаемого угольного концентрата. Данная система должна не только автоматизировать процесса измерения, оценивания и регистрации текущего расхода и интегральных показателей отгрузки продуктов обогащения, но и в автоматическом режиме осуществлять составление шихты.

В связи с тем, что управляющая система для этих целей создавалась на уже существующем производственном объекте [2], то было крайне необходимо учесть все особен-

ности его функционирования именно в подсистеме управления. Так как выбор состава и включение в работу питателей осуществляется оператором комплекса погрузки, то от принятых им решений зависят структура объекта управления (количество задействованных каналов регулирования) и динамические свойства этих каналов (запаздывание, динамика переходных процессов), определяемые конкретной конфигурацией включенных питателей в составе каждого канала регулирования. Другими словами, рассматриваемый объект управления обладает структурным многообразием, требующим не только соответствующего многообразия структуры автоматических регуляторов, но и их параметрической адаптации.

В ходе работы была создана автоматизированная система, позволяющая в автоматическом режиме осуществлять регулирование расхода компонентов шихты. Однако система получилась алгоритмически достаточно сложной и имеет ряд ограничений. Так, при любых действиях оператора, приводящих к необходимости изменения структуры объекта управления (увеличение или уменьшения величины задания на отгрузку, приводящие к необходимости включения или отключения питателей; изменение долей отгружаемых марок концентрата в общей массе и др.), прекращается подача материала, формируется новая структура объекта и запускаются питатели. Это приводит к задержкам в погрузке, дополнительным включениям и отключениям технологического оборудования и увеличивает материальные издержки.

В случае применения совместного синтеза объекта управления и управляющей подсистемы можно эффективнее достигать требуемых свойств системы управления в целом. В рассматриваемом случае изначальное проектирование достаточного количества частотных преобразователей для управления работой питателей позволило бы упростить структуру объекта управления и управляющей подсистемы, что, в свою очередь, уменьшило бы материальные затраты.

Таким образом, использование совместного синтеза позволяет уже на стадии разработки подходов к решению конкретных производственных задач сформировать проектные предложения, повышающие технико-экономические показатели функционирования промышленного объекта.

Работа поддержана грантом РФФИ по проекту № 15-07-02231

Список литературы

1. Ляховец М.В. Совместный синтез объекта управления и управляющей подсистемы // М.В. Ляховец, К.А. Ивушкин, Л.П. Мышляев, Е.И. Львова, С.В. Чернявский / Изв. вузов. Черная металлургия. – 2014. –№ 12. – С. 33-36.

2. Грачев В.В. Разработка системы автоматизации управления углеобогатительной фабрики «Матюшинская» // В.В. Грачев, А.В. Циряпкина, К.Е. Барагичев, В.О. Дмитриев / Труды IX Всероссийской науч.-практич. конф. «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве». – Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2013. – С. 69-71.

УДК 519.876.2

К РАЗВИТИЮ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

д.т.н. Кулаков С.М., Пургина М.В.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена система организационного управления нового класса, способная функционировать в условиях структурной неопределенности (СУ СНО) за счет включения в нее регулярно действующей подсистемы структурной оптимизации (ОС). На конкретном

примере показан положительный эффект от внедрения ОС. Представлены оценки показателей эффективности ИТ-инфраструктуры компании до и после внедрения оптимизационной подсистемы, демонстрирующие работоспособность СУ СНО при наличии воздействий внешней среды, изменении целей и ограничений.

Ключевые слова: система управления со структурной неопределенностью, система структурной оптимизации, адаптация, системы с переменной структурой, ИТ-услуга (сервис), постоянное совершенствование услуг, жизненный цикл сервиса, стадия эксплуатации, ИТ-процесс, простой сервиса.

Создание (синтез) любой системы управления для технических или организационных объектов промышленных (угольных, металлургических) предприятий включает определение её структуры, то есть базовых элементов (объекта управления, управляющей системы), их свойств и параметров, а также внутренних и внешних связей. Большинство подходов классической и современной теории управления к задаче синтеза предполагают, что структура системы управления заранее известна, определена. Однако функционирование системы управления, как правило, обусловлено воздействиями изменяющейся внешней среды. Влияние последней носит характер контролируемых и неконтролируемых нестационарных возмущающих воздействий, изменения целей и ограничительных условий функционирования системы, постоянно обновляющихся требований пользователей системы, различного рода помех. Для того, чтобы компенсировать возмущения, устранять помехи и реализовать изменяющиеся цели и требования системе управления не достаточно осуществлять традиционную адаптацию параметров и структуры механизма функционирования объекта и правил управления. Ей необходимо изменять структуру любых своих элементов заранее неизвестным образом, что обусловлено непредсказуемостью влияний внешней среды, например, рыночных условий.

К настоящему времени существует много исследований отечественных и зарубежных ученых, посвященных системам управления, функционирующих в условиях неопределенности, в том числе с изменяющейся структурой [1-6]. В этих работах, как правило, рассматриваются отдельные вопросы данной проблематики. Так, в широко известных работах С.В. Емельянова и др., например в [3], изменения реализуются в рамках заданного набора структур, и лишь по отношению к управляющей части системы управления с переменной структурой (СПС), не затрагивая при этом структуру объекта управления. В работе Л.П. Мышляева [2] дополнительно изменяется структура объекта управления в рамках заданного набора структур.

Вследствие расширяющегося практического применения систем с изменяемой структурой появилась необходимость в развитии их теоретических основ. Новый класс таких систем, рассматриваемый в данной работе, авторы далее будут называть *системами управления со структурной неопределенностью* (СУ СНО). Эти системы отличаются от систем с переменной структурой (в широком смысле) тем, что будущие структуры системы управления СУ СНО, а также процедуры их формирования/изменения и количество возможных структур заранее не заданы. Например, невозможно предугадать и учесть в структуре системы управления ИТ-сервисами изменения в законодательстве, бизнес-требованиях или других внешних факторах, которые необходимо отразить в действующих ИТ-сервисах.

Представление о простейшей системе управления со структурной неопределенностью, в основу которого положены известные разработки в области адаптивных систем управления (АС) и систем управления с переменной структурой, дает рис. 1. СУ СНО включает регулярно действующую подсистему структурной оптимизации (ОС), основанную на принципах постоянного совершенствования процессов предоставления услуг и позволяющую совершенствовать любые компоненты и связи системы управления при заранее неизвестных изменениях внешних и внутренних факторов.

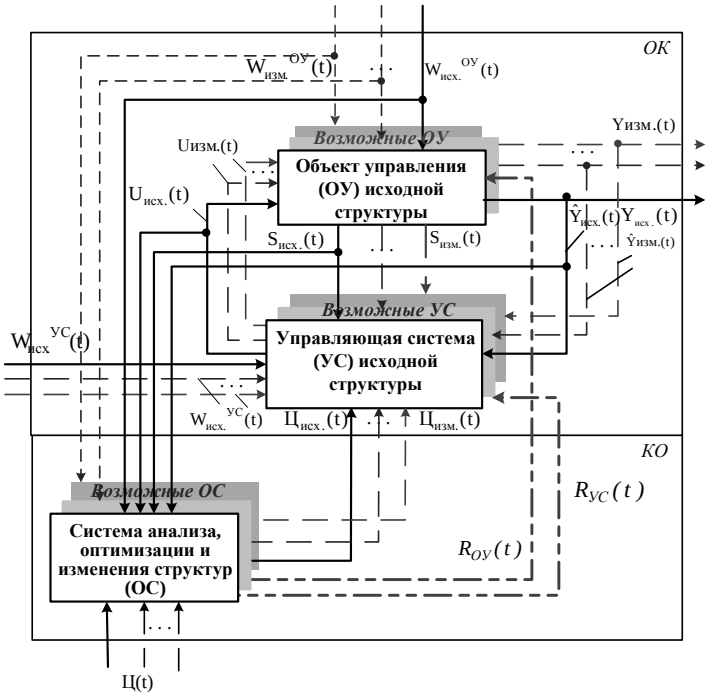


Рис. 1. Общее представление о системе управления со структурной неопределенностью

Обозначения, принятые на рис. 1: ——— – изначально заданные элементы структуры и связи системы управления; — — — – связи, создаваемые в процессе функционирования системы; ——— – воздействия в виде структурных изменений; *ОК*- основной контур управления; *КО*- контур оптимизации; $Y_{исх.}(t), Y_{изм.}(t)$ – исходные и измененные выходные воздействия на объект управления (ОУ); $S_{исх.}(t), S_{изм.}(t)$ – исходные и измененные параметры состояния ОУ; $U_{исх.}(t), U_{изм.}(t)$ – исходные и измененные управляющие воздействия на ОУ; $W_{исх.}^{ОУ}(t), W_{изм.}^{ОУ}(t)$ – исходные и измененные внешние воздействия на ОУ; $W_{исх.}^{УС}(t), W_{изм.}^{УС}(t)$ – исходные и измененные внешние воздействия на управляющую систему (УС); $R_{УС}(t), R_{ОУ}(t)$ – воздействия в виде изменения целей, ограничений, структур, элементов, связей и параметров УС и ОУ; $\hat{Y}_{исх.}(t), \hat{Y}_{изм.}(t)$ – оценки значений выходных воздействий; $Ц_{исх.}(t), Ц_{изм.}(t)$ – исходные и измененные цели системы управления; *Ц(t)* – цели, заданные извне. Непрерывными линиями на рисунке 1 выделена исходная структура системы, а пунктирными и тенями – ее возможное развитие в процессе функционирования.

Применительно к организационным системам управления жизненным циклом сервисов, представленным в информационно-технологической сфере, концепция управления со структурной неопределенностью выглядит как вполне очевидная. Приведем пример оценки эффективности *процесса обработки инцидентов* стадии эксплуатации ИТ-сервиса на основе показателя *длительности простоя сервиса* «Финансовая бухгалтерия в R/3», полученного в результате обработки обобщенных натурных данных о функционировании промышленной компании. Данный сервис в значительной степени подвержен изменениям под влиянием обновляемого законодательства, изменяющихся требований потребителей, быстрого развития информационных технологий. На рис. 2 приведен график за период с 01.12.12 по 30.04.13 показателя «Длительность простоев» сервиса до внедрения оптимизационной системы.

Из рис. 2 видно, что время простоя сервиса за неделю имеет тенденцию к увеличению, т.к. система, изначально созданная под необходимые требования заказчика, при изменении внешних условий на них не реагирует.

На рис. 3 приведен график показателя «Длительность простоев» сервиса «Финансовая бухгалтерия в *R/3*» за период с 01.05.13 по 30.09.13 после планируемого внедрения оптимизационной системы. Видно, что при своевременном изменении структуры системы управления за счет внедрения оптимизационной системы возможно постепенное улучшение (снижение) показателя простоя на 11,39%.

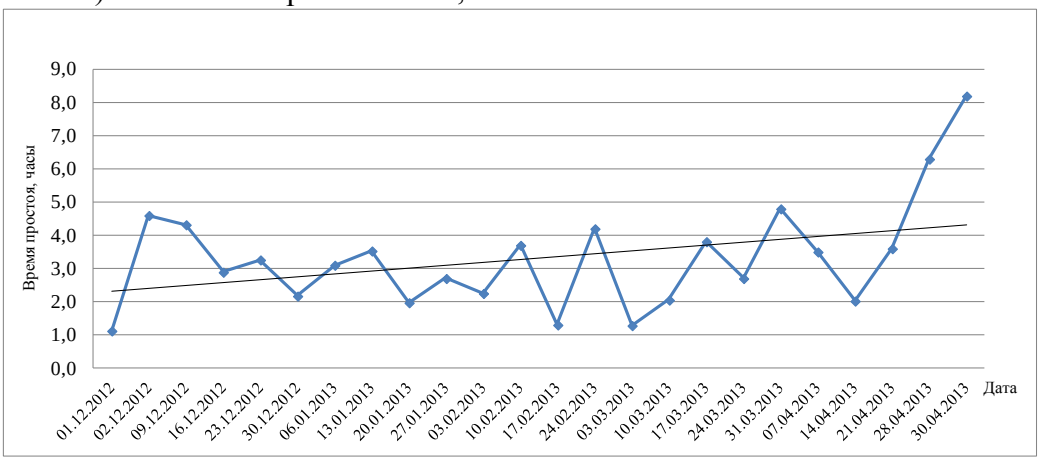


Рис. 2. Понедельный график времени простоя сервиса «Финансовая бухгалтерия в R/3» до внедрения ОС

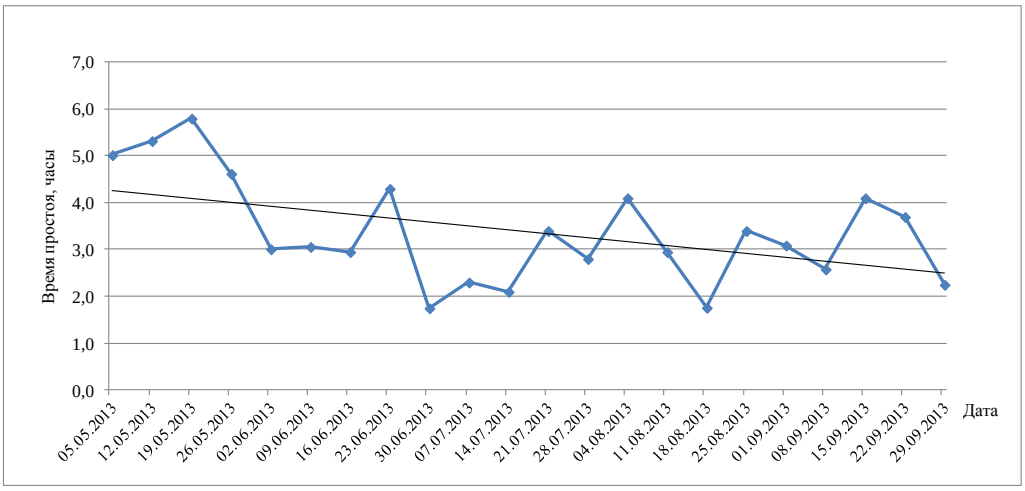


Рис. 3. Понедельный график времени простоя сервиса «Финансовая бухгалтерия в R/3» после планируемого внедрения ОС

Сравнительный анализ показателей работы ИТ-инфраструктуры компании (до и после внедрения ОС), сгруппированных по проблемам, возникших в процессе ее функционирования представлен в табл. 1. Данные из таблицы подтверждают общие выводы, полученные при анализе вышеприведенных графиков.

Таблица 1

Значения показателей работы ИТ-инфраструктуры компании

Наименование показателя эффективности	Измеренное значение показателя до внедрения ОС	Расчетное значение показателя после планируемого внедрения ОС
Проблема низкой отказоустойчивости сети и сервисов		
Время недоступности сервисов по причинам, связанным с неработоспособностью сети, за месяц (человеко-часов)	120	15
Время неработоспособности сети, за месяц (человеко-часов)	210	22

Проблема безопасного функционирования ИТ-инфраструктуры		
Время неработоспособности клиентских компьютеров, за месяц (человеко-часов)	40	5
Время неработоспособности сервисов по причинам, связанным с внутренними и внешними угрозами сети, за месяц, (человеко-часов)	11	0,5
Проблема недостаточной гибкости ИТ-инфраструктуры		
Среднее время обработки инцидента, за месяц (часов)	0,3	0,21

Заключение. В статье выполнено содержательное описание нового класса систем организационного управления ИТ-сервисами промышленной (угольной, металлургической) компании в условиях структурной неопределенности. Представлены результаты натурно-математического моделирования процесса эксплуатации ИТ-сервиса по показателю «Длительность простоев» сервиса до и после внедрения подсистемы структурной оптимизации, показывающие целесообразность практического использования ОС для решения задач организационного управления ИТ-сервисами при непрерывном изменении внешних и внутренних факторов.

Список литературы

1. Петров, Б.Н. Принципы построения и проектирования самонастраивающихся систем/ Б.Н. Петров, В. Ю.Рутковский, И.Н. Крутова, С.Д. Земляков -М.: Машиностроение,1972. - 259 с.

2. Мышляев, Л.П. Системы управления со структурным разнообразием /Л.П. Мышляев, А.А. Ивушкин //Системы автоматизации в образовании науке и производстве: Труды IX Всероссийской научно-практической конференции. 28-30 ноября 2013 г. Новокузнецк: СибГИУ, 2013. - С. 7-12.

3. Емельянов, С.В. Новые типы обратной связи: Управление при неопределенности / С.В.Емельянов, С.К. Коровин. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 352 с.

4. Мышляев, Л.П. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: Монография в 3-х томах. Том 2: Системы автоматизации прозводственного назначения / Л.П.Мышляев, А.А. Ивушкин, Г.П. Сазыкин и др.; Под ред. Л.П. Мышляева. – Новосибирск: Наука, 2006. – 483 с.

5. Рей, У. Методы управления технологическими процессами/ У. Рей. – М.:Мир, 1983. –368 с.

6. Шидловский, С.В. Автоматическое управление. Перестраиваемые структуры/ Шидловский С.В. − Томск: Томский государственный университет, 2006. − 288 с.

УДК 621.311

ТЕХНОЦЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОАО «РАСПАДСКОЕ»

к.т.н. Тимофеев А.С., Зарипов Ш.С.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Основу энергосбережения в системах электроснабжения угольных шахт составляет планомерная реализация комплекса технических мер, определяющих оптимизацию

электропотребления техноценозов на системном уровне. Ее целью является выявление объектов с аномальным электропотреблением и определение списка очередности проведения энергетического аудита.

Ключевые слова: ценоз, объект электропотребления, ранг, ранговая поверхность, доверительный интервал, табулирование.

Увеличение объема добычи угля обеспечивается применением современных высокопроизводительных горно-добывающих комплексов. Доминирующим потребителем электроэнергии являются электроприводы различного типа и мощностей, в которых преобладает труднопредсказуемый резкопеременный характер нагрузки, приводящий к сложным алгоритмам энергообмена. Это существенно затрудняет условия энергобаланса, что влечет к значительным электротехническим и технологическим потерям.

Электротехнические и технологические потери тесно связаны с прогнозированием условий существования нормального установившегося режима электроэнергетической системы и расчетов электрических нагрузок в распределительных сетях. Это позволяет достичь важнейшего принципа формирования надежной и эффективной работы электроснабжающей системы, обеспечивая технологическую устойчивость работы энергосистемы ее системную надежность и бесперебойность. При этом потери увеличивается с ростом объемов добычи угля и постоянно усложняющими горно-геологическими условиями, что находит отражение в себестоимости продукции.

Названные проблемы на горных предприятиях являются актуальными и определяются рациональным использованием электроэнергии.

Наиболее эффективным к настоящему времени апробированным инструментом в области оптимального управления электропотреблением является применение теории техноценозов, основным методом исследований которой является ранговый анализ. Ранговый анализ базируется на трех фундаментальных принципах: технократическом подходе к окружающей реальности, восходящем к третьей научной картине мира Б.И. Кудрина; негауссовой математической статистике устойчивых безгранично делимых гиперболических распределений [1;] ограниченная в пространстве и времени взаимосвязанная совокупность далее неделимых технических изделий т.е. - особей, объединенных слабыми связями.

В качестве примера использования рангового анализа в исследовании базы данных объектов электропотребления инфраструктуры электрохозяйства ОАО “Распадское”, которая представлена двумерной таблицей, столбцы которой соответствуют объектам потребления активной мощности, а строки временным интервалам за период с 2007 – 2014 год.

Исследование факторов, определяющих основные закономерности поведения объектов электропотребления, проводилось современными программными средствами расчетно-графических модулей пакета прикладных программ Mathcad.

В целях обеспечения корректной работы программных средств, к нулевым значениям базы данных в области ноевой касты, природа которых различна, устанавливаются значения 0,001кВт. Электронная база данных, которая представляет собой неупорядоченную совокупность значений электропотребления объектов инфраструктуры, приведена в табл. 1.

Практическая реализация рангового анализа начинается с математического представления объектов электропотребления, что представляет собой совокупность точек, полученны по эмпирическим данным [1]

$$(x_1 \cdot y_1);(x_2 \cdot y_2)\ldots..(x_i \cdot y_i)\ldots\ldots(x_n \cdot y_n),$$

где i − формальный индекс; n − общее количество точек − результат анализа табулированного рангового распределения техноценоза.

Таблица 1

Табулированное ранговое распределение по электропотреблению

2007-2014 год, потребление кВт·ч.						
объект	январь	февраль	март	…	ноябрь	декабрь
Добычные участки	5499.45305	4503,913577	4585,147223		3862,211676	4942,47227
Подготовительные участки	337,7641075	332,5662131	353,9025684		382,0774498	492,2542487
ПРТБ	0,501	0,502	0,503		0,511	0,512
УШСУ	644,95161	454,36799	586,65724		530,9019	527,7868
УВГП	1538,2322	1404,098	1523,352		1420,011	1449,486
УКТ-1	873,22612	838,95852	871,30023		762,2549	763,6495
Техкомплекс	704,65388	677,00148	703,09977		615,1051	616,2305
УКТ-2	1482,5442	1154,3592	1488,321		1599,604	1112,343
УРТ	19,01	19,02	19,03		19,11	19,12
УДБ (дегазация)	366,12	293,4	374,64		148,56	168
УКР	115,01	115,02	115,03		115,08	115,09
Вентилятор гл. 4бис	3081,934	2872,25	3082,534		2598,08	2483,902
Очистные сооруж. шахтных.вод	2045,72	1770,08	1877,12		91,62	442,644
Котельная	1416,24	1237,68	1411,92		1285,92	1411,56
Спецбригады	93,212	121,501	121,502		121,51	121,511
СМУ-1	47,01	47,02	47,03		47,11	47,12
Автоцех	284,01	284,02	284,03		284,08	284,09
АБК	149,36	213,78	305,22		293,22	358,26
Склады	10,01	10,02	10,03		10,11	10,12

Табулированное ранговое распределение объединяет всю статистику о техноценозе, значимую с точки зрения технологического подхода, по форме представленной в табл. 2.

Таблица 2

Табулированное ранговое распределение по электропотреблению инфраструктуры электрохозяйства ОАО «Распадское»

Rang =

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1	10	19	8	3	7	9	4	17	13	15	2	5	6	14	16	12	11	18
2	1	6	19	8	3	7	9	4	17	13	15	2	10	5	14	16	12	11	18
3	1	6	19	7	3	4	12	5	17	15	14	2	9	8	13	16	11	10	18
4	1	6	19	4	2	7	18	11	16	13	14	3	8	5	12	15	10	9	17
5	2	4	19	3	1	8	15	12	17	7	13	10	6	5	14	16	11	9	18
6	1	8	19	3	2	7	16	4	17	11	12	10	6	5	14	15	13	9	18
7	1	7	19	3	2	9	13	8	17	14	15	10	6	4	12	16	11	5	18
8	2	4	17	3	1	9	6	7	14	19	13	18	11	5	12	15	10	8	16

На основании полученного табулированного распределения представляется графическое построение ранговых распределений двумерной форме, рис. 1 и Н – распределения в трехмерной графической форме рис. 2.

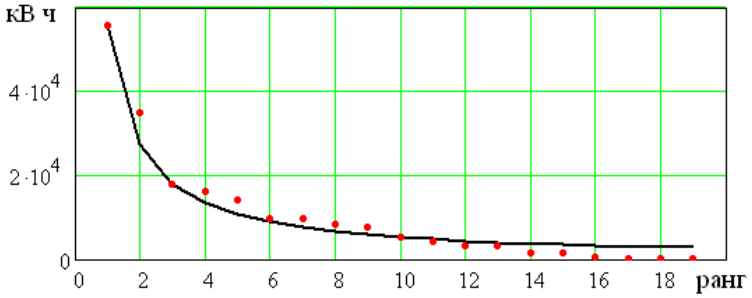


Рис. 1. Ранговое параметрическое распределение техноценоза за период 2007 года: абсцисса - ранг объекта; ордината - значение параметра, кВт·ч

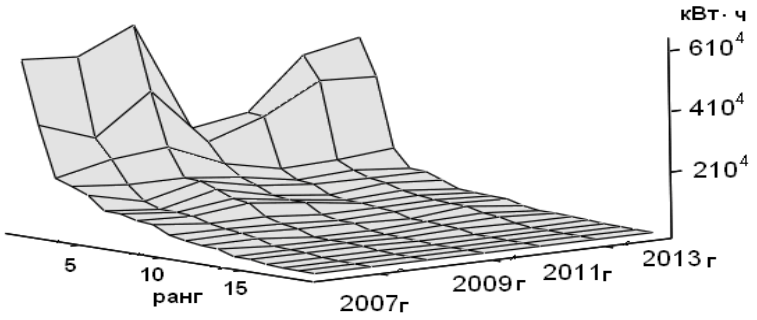


Рис. 2. Трехмерная ранговая поверхность техноценоза: абсцисса - ранг объекта; ордината - временной интервал, аппликата - электропотребление, кВт·ч

Следующим этапом в исследовании взаимосвязи между траекториями движения временных рядов электропотребления объектов по ранговой поверхности определяется коэффициент конкордации [1]. Он показывает согласованность перемещения объектов по ранговой поверхности при переходе от одного временного интервала к другому.

Полученный коэффициент конкордации 0.889 значим и свидетельствует о стабильности ранговой поверхности и взаимосвязанности исследуемой структуры электрохозяйства ОАО “Распадское”. Таким образом, созданную базу данных можно использовать в расчетах:

− нормирования электропотребления; − оценки потенциала электропотребления;

− углубленного обследования объектов техноценоза в системах электроснабжения ОАО “Распадское” [3].

Для определения эффективности работы объектов электропотребления в целом, необходимо интервальное оценивание параметрического распределения. Оно позволяет определить, какие объекты техноценоза являются аномальными:

− точка лежащая на ранговом распределении, которая входит в доверительный интервал, гауссового разброса, свидетельствует о нормальном электропотреблении объекта;

− точка лежащая ниже доверительного интервала, свидетельствует о нарушениях в технологическом процессе, а следовательно и в электропотреблении объекта;

− точка лежащая выше интервала, свидетельствует о том, что объект имеет аномально завышенное значение в электропотреблении.

Это характеризуется графиками, представленными на рис. 3 и 4.

В результате исследований объектов электропотребления инфраструктуры электрохозяйства ОАО “Распадское”, получен номер объекта согласно начальной базы данных и список очередности проведения аудита, в данном случае он выглядит так: (10 12 11 17 18 2 6 13).

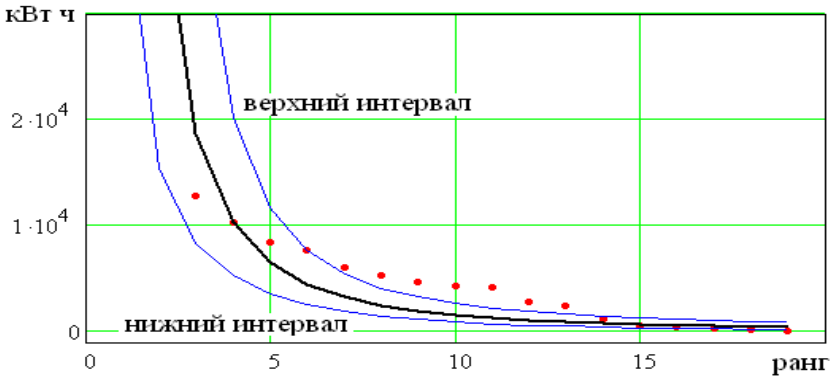


Рис. 3. Доверительный интервал рангового параметрического распределения: абсцисса - ранг объекта; ордината - электропотребление, кВтч; точки - эмпирические данные; сплошные линии − аппроксимационная кривая, верхняя и нижняя доверительные границы

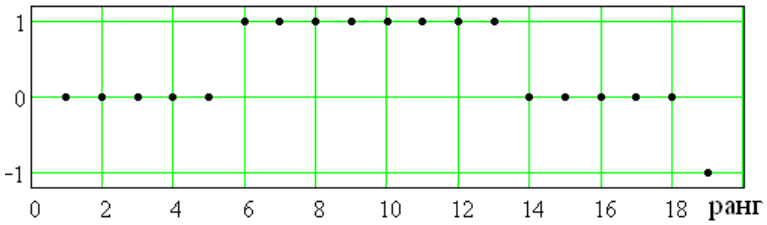


Рис. 4. Объекты электропотребления в доверительном интервале: абсцисса - ранг объекта; ордината - индикатор, который принимает значение 0, 1 или -1, если точки соответственно лежат: внутри, выше или ниже доверительного интервала

Последовательная на протяжении ряда лет реализация данной методологии позволяет каждый раз целенаправленно воздействовать на наиболее "слабые" объекты. При этом средства, нацеленные для проведения энергетических обследований, будут расходоваться наиболее эффективно, а общее электропотребление инфраструктуры будет постоянно снижаться [2,3].

Список литературы

1.Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов. − Выпуск 29. Ценологические исследования. −М.: Издательство ТПУ − Центр системных исследований, 2005. −384с.

2.Пушин Л.С. Ценология − это просто // Ценологические исследования. Вып. 45.М.: Техника, 2010. 68 с.

3.Фуфаев В.В. Ценологическое определение параметров электропотребления, надежности, монтажа и ремонта электрооборудования предприятий региона. - М.: Центр системных исследований, 2000. - 320 с.

УДК 62-503.57+681.518.5: 622.23.05

УДК 621.31

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

[1]д.т.н. Пугачев Е.В., [1]к.т.н. Иванов А.С., [2]Нусратов П.Р., [3]Иванов В.С.
1 - Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
2 – Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан
3 - ООО «ИНДАС ХОЛДИНГ», г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье приведен обзор общепромышленных схемных решений асинхронного электропривода с частотным управлением в режиме генераторного торможения, рассмотрен процесс функционирования преобразователей в данном режиме.

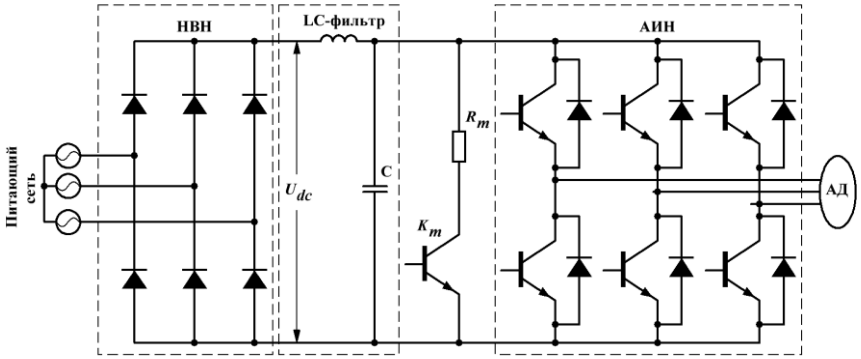
Ключевые слова: Двухзвенный преобразователь частоты, асинхронный электропривод, генераторное торможение.

Применение систем преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ – АД) для широкого круга механизмов в различных отраслях обусловлено достоинствами частотного регулирования и значительными успехами, достигнутыми в области преобразовательной техники. Осуществление питания асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором от статических преобразователей частоты (ПЧ) позволило создать пол-

ностью бесконтактный экономичный регулируемый привод переменного тока с высокими динамическими свойствами.

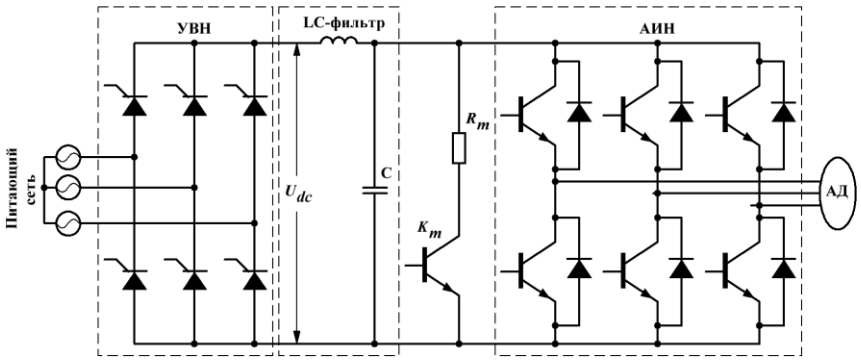
При интенсификации производственных процессов предъявляются все более возрастающие требования к тормозным режимам асинхронных двигателей, в частности к асинхронным короткозамкнутым двигателям (АД), питаемых от статических преобразователей частоты (ПЧ). Вследствие все более широкого применения систем ПЧ – АД требуется глубокое изучение электрических способов торможения [1].

Современный регулируемый асинхронный электропривод, как правило, питается от двухзвенного преобразователя частоты (ДПЧ) с неуправляемым (рис. 1) или полууправляемым (рис. 2) выпрямителем напряжения. В подобных электроприводах выпрямитель напряжения нагружен на автономный инвертор напряжения (АИН), функционирующий по принципу широтно-импульсной модуляции (ШИМ) (рис. 3) или релейно-векторного управления с частотой 1-2 кГц [2].



НВН – неуправляемый выпрямитель напряжения; АИН – автономный инвертор напряжения; АД – асинхронный двигатель

Рис. 1 – Структурная схема системы элекопровода с НВН и АИН с ШИМ



УВН – управляемый выпрямитель напряжения; АИН – автономный инвертор напряжения; АД – асинхронный двигатель

Рис. 2. Структурная схема системы электропривода с УВН и АИН

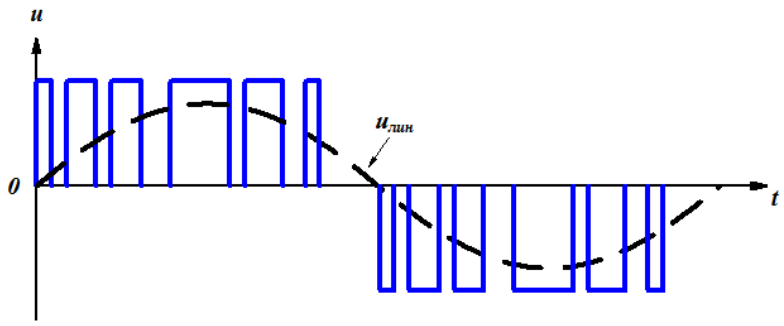


Рис. 3. Форма напряжений на зажимах АД

Данные электроприводы оснащены звеном постоянного тока (ЗПТ) с индуктивно – емкостным фильтром (LC – фильтр), служащий для сглаживания пульсации НВН и УВН. В звене постоянного тока (ЗПТ) предусмотрена цепь динамического торможения, состоящая из тормозного резистора $R_т$ и IGBT транзистора $K_т$, служащего как прерыватель. В режиме генераторного торможения ЭП, при превышении напряжения ЗПТ порогового напряжения, прерыватель $K_т$ открывается, и энергия торможения рассевается в виде тепла в резисторе $R_т$.

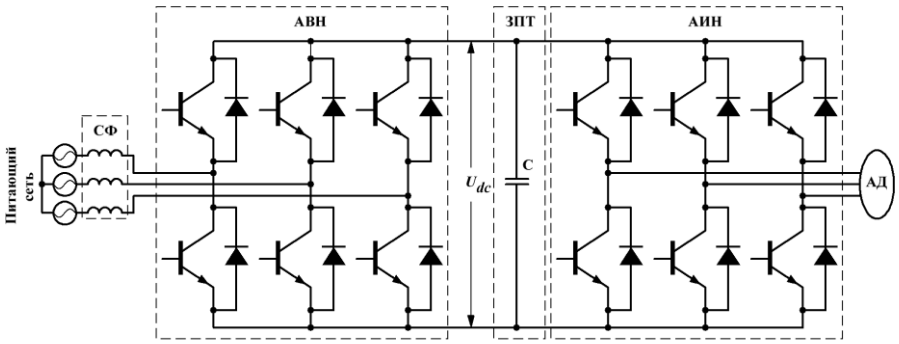
Такие структуры преобразователей частоты позволяют обеспечить высокий коэффициент мощности в системе, а при реализации законов векторного управления высокие статические и динамические показатели системы управления, однако не обеспечивают режим генераторного торможения с рекуперацией электрической энергии в питающую сеть.

С появлением на рынке биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT – транзисторы) и интегральных микросхем область применения асинхронного электропривода с транзисторными преобразователями частоты расширилась. Первые асинхронные электроприводы на базе полупроводниковых силовых транзисторов мощностью до 350 кВт на напряжение 400 В начали выпускать мировые концерны еще в начале 90 – х годов.

В настоящее время мощность этих электроприводов достигает несколько мегаватт (МВт) на напряжения до 10 кВ.

Для обеспечения режима рекуперации электрической энергии в питающую сеть при переходе электропривода в режим генераторного торможения входной выпрямитель напряжения двухзвенного преобразователя частоты (ДПЧ) выполнен как реверсивный вентильный преобразователь (РВП) с раздельным управлением. В системе управления многодвигательных электроприводов начали использовать специальные рекуператоры на базе силовых тиристоров, однако спектр сетевых токов в обоих случаях имеют неблагоприятный состав и, так же, как и при неуправляемом выпрямителе напряжения, не удовлетворяет требованиям современных стандартов. При этом иностранные концерны рекомендуют использовать пассивные фильтры на входе системы электропривода для улучшения формы потребляемых и рекуперируемых токов. Однако с точки зрения цены и массогабаритных показателей этот подход не приемлем.

Для повышения электромагнитной совместимости электропривода с питающей сетью и реализации режима рекуперации электрической энергии в питающую сеть при переходе электропривода в режим генераторного торможения одним из эффективных направлений является применение обратимых преобразователей частоты, таких как двухзвенные преобразователи частоты (ДПЧ) с активным выпрямителем напряжения (АВН) (рис. 4), двухзвенные непосредственные преобразователи частоты и матричные преобразователи частоты [3 - 5].



СФ – сетевой фильтр; АВН – активный выпрямитель напряжения; ЗПТ – звено постоянного тока; АИН – автономный инвертор напряжения; АД – асинхронный двигатель

Рис. 4. Функциональная схема двухзвенного преобразователя частоты с активным выпрямителем

Благодаря присутствию двунаправленных полупроводниковых элементов подобные преобразователи частоты обеспечивают двунаправленное движение потока энергии. Пульсация гармоник токов и напряжений на стороне питающей сети сглаживается сетевым фильтром (СФ).

Таким образом, существуют несколько схем активных преобразователей частоты, позволяющих возвращать энергию торможения в питающую сеть в режиме генераторного торможения, существенно улучшить электромагнитную совместимость преобразователей с питающей сетью, повысить коэффициент мощности ($\cos\varphi = 1$), практически исключить гармоники токов и напряжений, как на входе, так и на выходе системы электропривода.

Список литературы

1. Копырин В.С. Тормозные режимы системы преобразователь частоты – двигатель / В.С.Копырин, В.И. Лихошерст, М.М. Соколов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. -72 с.

2. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000.

3. Пугачев Е.В., Нусратов П.Р., Иванов В.С. Обзор рынка частотно – регулируемых электроприводов со звеном рекуперации электроэнергии в питающую сеть // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Уголь и Майнинг России. Новокузнецк: СибГИУ, 2014.№1. С.187-192.

4. Wilson J. The forced-commutated inverter as a regenerative rectifier. IEEE Trans, Ind Appl, no. 14, 1978, pp. 335–340.

5. Wheeler PW, Rodriguez J, Clare JC, Empringham L, Weinstejn. A Matrix converters: a technology review. IEEE Trans, Ind Electron no. 49(2), 2002, pp. 276–288.

УДК 621.313

АЛГОРИТМ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ «ТУРБИНА – ГИДРОГЕНЕРАТОР»

д.т.н. Пугачев Е.В., к.т.н. Кипервассер М.В., Гуламов Ш.Р.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Дана характеристика ситуации с защитой электротехнического комплекса, имеющего в своем составе гидротурбину и синхронный генератор, от аварийных режимов. Приведена математическая модель электротехнического комплекса. Получены графики переходных процессов электрических и механических параметров при возникновении аварийных ситуации в механической части электротехнического комплекса.

Ключевые слова: гидротурбина, синхронный генератор, контроль электрических и механических параметров.

В настоящее время расширяется использование одиночных установок для преобразования гидравлической энергии в электрическую энергию. Основными причинами использования таких агрегатов являются: отсутствие традиционных электрических сетей в удаленных и труднодоступных районах местности, соображения надежности электроснабжения в случаях протяженных сетей малой мощности, а также рост тарифов на электроэнергию, вынуждающий использовать альтернативные источники электроэнергии. Основным видом электрической машины, используемой для выработки электрической энер-

гии на одиночных установках для преобразования гидравлической энергии в электрическую, являются синхронные генераторы.

Использование подобных одиночных агрегатов весьма актуально для горнодобывающих предприятий, дислоцированных в районе залегания полезного ископаемого. Достаточно часто такие месторождения расположены в труднодоступных горных районах, где отсутствует возможность подключения к сети электроснабжения, но имеются значительные неиспользуемые объемы гидроресурсов малых и средних рек.

Подобные одиночные гидроагрегаты после монтажа и запуска в работу, как правило, постоянно не наблюдаются и не обслуживаются квалифицированным персоналом. При этом сами установки являются достаточно сложными электротехническими комплексами, включающими в себя гидравлические и сопряженные с ними электрические машины [1].

Синхронные генераторы и гидротурбины, работающие как на крупных, так и маломощных ГЭС, подвергаются большому количеству внешних воздействий разного рода механических и электрических нагрузок.

Электрические нагрузки формируются токами, протекающими по обмоткам статора и в роторной цепи, а также коммутационными и иными перенапряжениями в цепях статора и ротора.

Механические нагрузки возникают при передаче рабочего момента от вала гидротурбины на ротор генератора, от веса вращающихся частей, воспринимаемого опорными подшипниками (подпятниками) и направляющими подшипниками агрегата, от других осевых усилий, в том числе нагрузки от гидроударов, дополнительных усилий, вызываемых вибрационными и иными явлениями (кавитация).

Оценивая существующие способы защиты гидроагрегатов можно отметить, что контроль функционирований электрической части осуществляется в достаточно полном объёме, с замером большинства электрических параметров и контролем всех возможных аварийных ситуаций.

В то же время защита механической части агрегата обычно ограничивается набором технологических защит, контролирующих параметры систем смазки и охлаждения агрегата (давление и температура масла и пр.). В сравнении с возможным набором причин, приводящих к авариям механической части, защиту её стандартными методами следует признать недостаточной. В этой связи, учитывая тяжесть возможных последствий аварий, разработка дополнительных средств защиты гидрогенераторов от аварийных режимов является актуальной задачей.

Известно, что для контроля защиты от аварийных режимов механической части электротехнического комплекса, имеющего в своем составе электрическую машину, можно использовать косвенные методы, основанные на измерении электрических параметров рассматриваемой электротехнической системы [2].

Разработка подобных схем защиты может быть основана на предварительной оценке изменения контролируемых электрических параметров в различных аварийных ситуациях. С этой целью авторами составлена математическая модель электротехнического комплекса, имеющего в своем составе гидравлическую турбину малого расхода и синхронный генератор, работающий на автономную нагрузку. Для разработки математической модели гидроагрегата, где можно промоделировать ее работу в нормальных и аварийных режимах работы, использованы известные уравнения, описывающие гидротурбину и синхронный генератор. Авторами предлагается математическое описание гидротурбины по уравнениям, изложенным в [3 - 6] и со следующими допущениями:

- КПД системы для всего диапазона изменения мощности принят постоянным;
- стенка водовода является абсолютно жёсткой;
- вода не сжимается.

Рассматриваемому электротехническому комплексу, работающему на автономную нагрузку, соответствует алгоритмическая структура, приведенная на рис. 1.

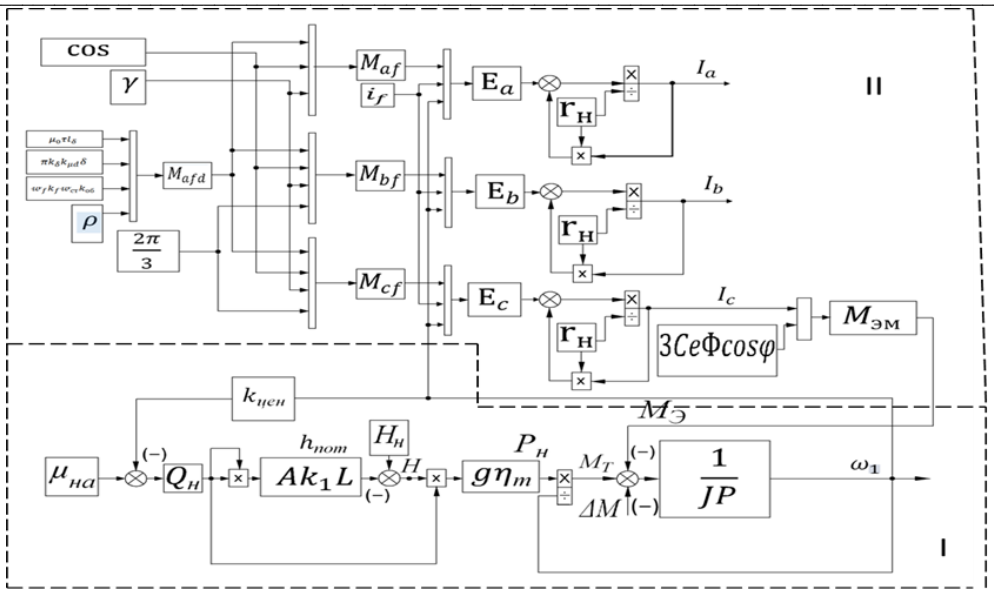


Рис. 1. Алгоритмическая структурная схема синхронного гидроагрегата: (механическая часть – I); (электрическая часть – II)

Полученная алгоритмическая структура отличается от известных тем, что содержит две взаимосвязанные составляющие:

−математическая модель входящей в состав электротехнического комплекса электрической машины (явнополюсного синхронного генератора);

−математическая модель механической части комплекса (осевая радиальная гидротурбина с напорным водоводом), представленная в виде одномассовой системы.

Связующим параметром между двумя указанными составляющими модели является фазный ток статора.

Входными параметрами при моделировании являются величина отклонения момента на валу гидротурбины в аварийных режимах, скорость вращения турбины и напор водонапорного водовода (ΔM, ω_1, Н).

Выходными исследуемыми параметрами модели являются электрические параметры генератора – фазные напряжения и токи (U_a, U_b, U_c, I_a, I_b, I_c).

Разработанная математическая модель позволила получить в среде MATLAB переходные процессы электрических и механических параметров агрегата, вызванные возникновением неисправности механической части.

В ходе эксперимента моделировалась аварийная ситуация с заклиниванием и разрушением одного из двух опорных подшипников ротора гидравлической турбины, синхронный генератор которой работает на автономную нагрузку. В качестве аварийного принято отклонение момента на валу турбины, вызванное аварийным событием, в размере 40% от номинального момента, что является вполне приемлемым значением для моделируемой турбины с диаметром колеса 0,42 м. Графики переходных процессов скорости, напряжения, тока статора и давления в водонапорном трубопроводе показаны на рис. 2 - 5.

Переходные процессы, приведенные на рисунках 2 – 5, показывают, что увеличение момента ΔM, создаваемое механической поломкой, приводит к уменьшению скорости вращения гидротурбины, соответственно к падению напряжения и тока статора синхронного генератора, а также к увеличению давления в напорном водоводе.

Из полученных графиков переходных процессов при работе генератора на чисто активную нагрузку следует:

- моменты времени начала переходных процессов контролируемых параметров скорости, напряжения, механического момента, давления в водоводе и тока статора совпадают с временем возникновение аварийной ситуации;

- переходные процессы носят апериодический характер;
- отклонение величины скорости составляет 7% от установившегося значения до аварии;
- отклонение величины тока составляет 39%;
- время протекания переходных процессов и постоянные времени составляет 0,8 с и 0,2 с соответственно;
- величины отклонения напряжения и тока вполне достаточны для фиксации их схемами контроля и выработки аварийного отключающего сигнала;
- отклонения контролируемых сигналов в промежутке времени, равном значению постоянной времени (0,2), можно считать достаточными для фиксации их схемами контроля. С учетом этого общее время срабатывания зашиты не будет превышать 0,3…0,4 секунды, что вполне достаточно для предотвращения развития аварийной ситуации на ранней стадии, обеспечивая при этом необходимое быстродействие защиты.

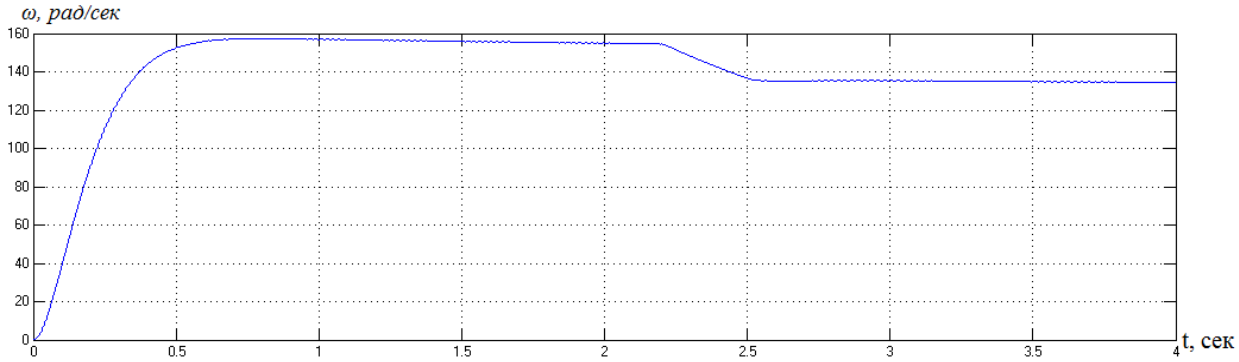


Рис. 2. График переходного процесса скорости гидроагрегата

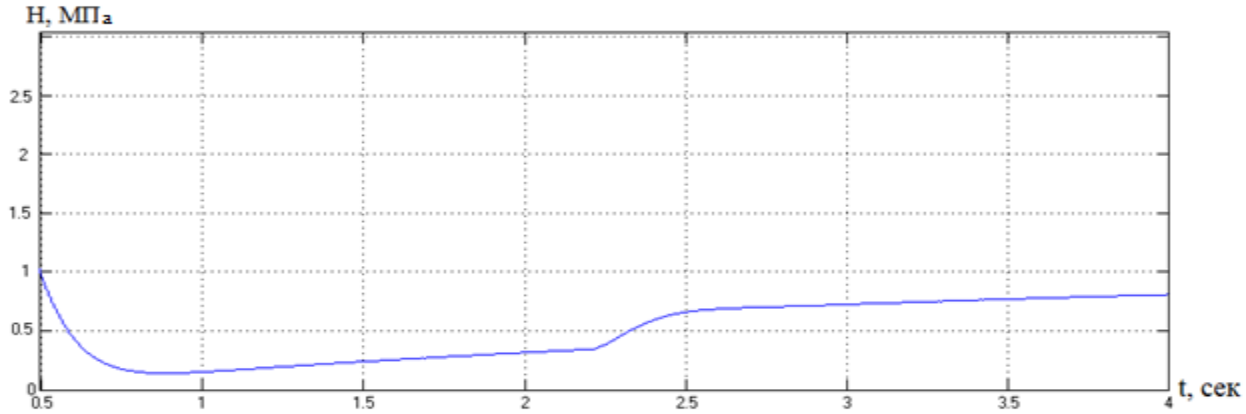


Рис. 3. График переходного процесса изменения давления в напорном водоводе

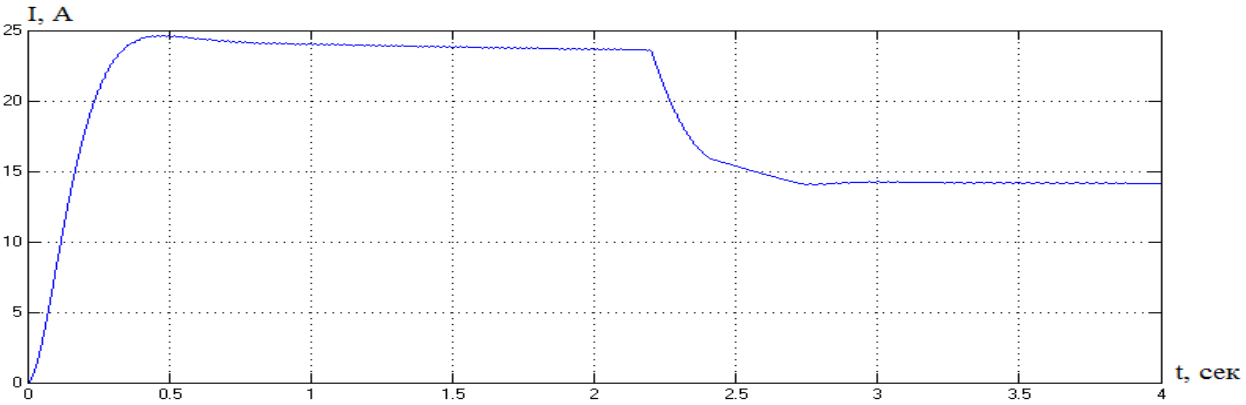


Рис. 4. График переходного процесса тока статора синхронного генератора

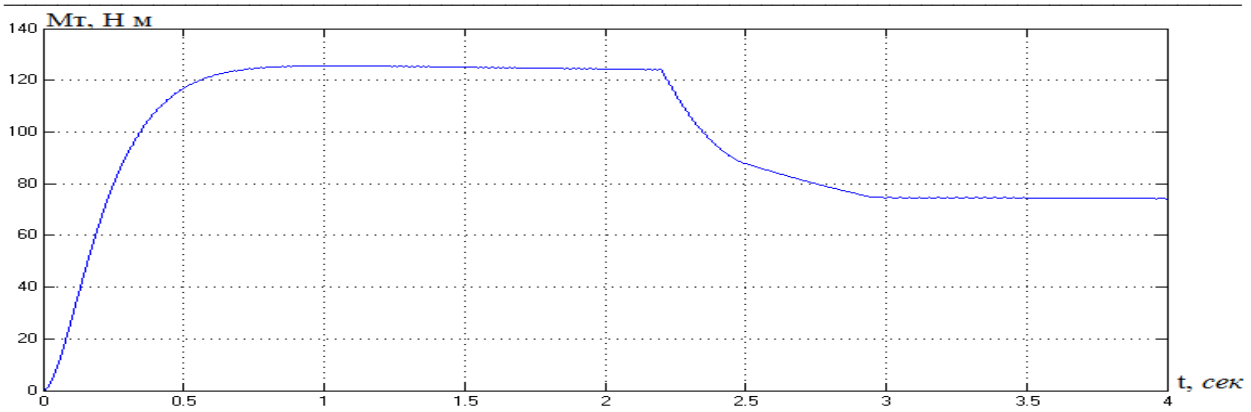


Рис. 5. График переходного процесса изменения механического момента на валу гидротурбины

Полученные в ходе моделирования оценки параметров работающего синхронного генератора, сопряженного с гидравлической турбиной, позволяют установить наличие устойчивой связи между происходящими аварийными событиями механической части и электрическими параметрами агрегата. В свою очередь наличие такой связи делает возможным использование отклонения электрических параметров в аварийных режимах для защиты гидроагрегата от механических повреждений.

Список литературы

1. Пугачев Е.В. Кипервассер М.В. Гуламов Ш.Р. Динамические характеристики системы гидротурбина – синхронный генератор работающей на автономную нагрузку в аварийных режимах. / Вестник Таджикского национального университета, 2014, № 1/2 (130).с. 117-124.

2. Пугачев Э.В. Кипервассер М.В. Аниканов Д.С. контроль работоспособности конвейерного транспорта посредством регистрации параметров электропривода. / Вестник Куз ГТУ, 2013, №3. с. 101-105.

3. Асарин А. Е., Бестужева К. Н. Водоэнергетические расчеты. – М.: Энергоатомиздат, 1986. 224 с.

4. Осин И.Л. Шакарян Ю.Г. Электрические машины: Синхронные машины: Учебное пособие для вузов по спец. «Электромеханика» / И.П. Копылов. – М.: Высшая школа, 1990. – 304 с.: ил.

5. Вольдек А.И. Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2008 – 349 с.: ил.

6. Онищенко Г.Б. Электрический привод. Учебник для вузов – М.:РАСХН. 2003. – 320 с.: ил.

УДК 622.3:[621.314.26:62-83]

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО ВСТРОЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

к.т.н. Пугачёва Э. Е., Артемьев С. В.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация: Рассматриваются преимущества применения регулируемого электропривода со встроенным преобразователем частоты во взрывонепроницаемом корпусе по сравнению с электроприводом с многоскоростными асинхронными двигателями для управления скоростью асинхронных двигателей лавного конвейера.

Ключевые слова: управляемый электропривод, плавный пуск, встроенный частотный преобразователь, взрывонепроницаемый корпус, энергосберегающие технологии.

В условиях возросших требований к энергосбережению на промышленных предприятиях особенно актуальным представляется использование электроприводов с частотным управлением в качестве основных приводных систем для горнодобывающей техники.

Одними из наиболее ответственных участков технологического процесса в угольной шахте являются очистной участок и магистральные конвейерные линии, транспортирующие уголь в бункер или на поверхность. Поэтому повышению энергетических характеристик электропривода лавных скребковых конвейеров и магистральных ленточных конвейеров уделяется особое внимание.

Поддержание энергосберегающих режимов работы лавного электрооборудования можно обеспечивать только с применением управляемого электропривода, обеспечивающего плавный пуск двигателей и регулирование скорости движения рабочего органа конвейера в соответствии с фактическим грузопотоком добычного участка.

В настоящее время на шахтах широко распространены электроприводы с многоскоростными асинхронными двигателями с регулированием скорости изменением числа пар полюсов. Однако они малоэффективны из-за больших массо-габаритных размеров, сложности и высокой стоимости. Другими недостатками указанного электропривода являются:

- ступенчатость изменения скорости двигателя;
- относительно небольшой диапазон регулирования;
- большая мощность электрической сети и трансформатора;
- отсутствие выравнивания нагрузки многодвигательных электроприводов;
- высокий износ электрооборудования.

Одним из самых эффективных способов регулирования скорости асинхронных двигателей, лишённым указанных недостатков, является применение частотного регулирования с помощью преобразователей частоты различного конструктивного исполнения.

С развитием современной элементной базы габариты силовой и управляющей части преобразователей частоты уменьшились настолько, что стало возможным совместить асинхронный двигатель и преобразователь частоты в надёжном и компактном корпусе (VFD-технология). Немецкая фирма Breuer-Motoren производит подобные двигатели во взрывонепроницаемом корпусе, что позволяет применять их в угольных шахтах.

Разработчики фирмы Breuer-Motoren использовали технологический прорыв в высоковольтных интегральных схемах биполярных транзисторов (IGBT) для того, чтобы разработать частотный преобразователь типового для горной промышленности напряжения 1140-3300В.

Применение электропривода со встроенным частотным преобразователем (VFD-привод) на лавном конвейере очистного забоя, а также на магистральном ленточном конвейере может иметь ряд преимуществ по сравнению с электроприводом с многоскоростными асинхронными двигателями. В числе этих преимуществ следующие:

- уменьшение ударных нагрузок на механизмы конвейера вследствие применения плавного запуска и остановки двигателя;

- меньшая нагрузка на сеть при пуске двигателей и низкой величине потребляемой мощности, так как даже при экстремально высоких начальных пусковых моментах имеет место малая скорость вращения. При этом низкое падение напряжения при запуске под нагрузкой исключает необходимость использования трансформаторов большой мощности;

- автоматическое выравнивание нагрузки на многодвигательных приводах улучшает их динамические характеристики;

- возможность управления VFD-двигателями в режиме прямого доступа (online) в зависимости от нагрузки на лавный конвейер, что способствует оптимизации всего технологического процесса добычи угля;

- отсутствие перегрузок VFD-двигателей, обеспечиваемое алгоритмами регулирования, которые поддерживают работу системы электропривода в диапазоне допустимых характеристик;

- увеличение ресурса цепи забойного конвейера путём реализации в контрольном устройстве VFD-двигателя программы остановки работы при заклинивании цепи, что предотвращает её порывы и растяжения, а также исключает провис цепи;

- увеличение ресурса ленты, так как запуски и скорость движения ленточных конвейеров контролируются и автоматически варьируются в зависимости от загрузки;

- отсутствие необходимости в текущем обслуживании связки VFD-двигателя с редуктором, так как из-за особенностей конструкции ресурс смазки двигателей составляет приблизительно 20000 часов;

- отсутствие дополнительной станции охлаждения, так как охлаждение двигателя и редуктора обеспечивается единым контуром, а также низкий расход воды на охлаждение (20-25 л/мин в зависимости от мощности);

- уменьшение количества кабельных перемычек;

- возможность торможения с рекуперацией энергии в сеть;

- минимальный расход реактивного тока;

- отсутствие проскальзывания между двигателем и редуктором, что обеспечивает максимальный $\cos\varphi$ и КПД свыше 94%;

- бесконтактное включение и отключение двигателя благодаря внутреннему вакуумному контактору, что исключает установку дополнительного коммутационного оборудования;

- наличие защитных и контрольных функций (контроль температуры компонентов двигателя с помощью терморезисторов, контроль перегрузки по току, контроль скорости и момента, защита от перегрузки дробилки и перегружателя);

- наличие встроенных в корпус двигателя высокочастотных фильтров, обеспечивающих электромагнитную совместимость VFD-двигателей;

- компактное конструктивное исполнение VFD-двигателей, что даёт возможность снижения массо-габаритных показателей энергопоезда и значительно уменьшает время на его передвижку, а также повышает надежность системы в целом.

Таким образом, встроенный частотный преобразователь позволяет экономить электроэнергию за счёт оптимального управления электродвигателем благодаря сокращению времени пуска и изменения скорости в зависимости от нагрузки. При этом отсутствуют пусковые броски тока, более эффективно распределяется электроэнергия внутри двигателя и уменьшается потребление реактивной энергии.

Системы электроприводов со встроенным частотным преобразователем уменьшают нагрузку на кинематику транспортной системы лавы, что обеспечивает увеличение срока службы всех компонентов электропривода.

В целом, внедрение в производство указанной системы электроприводов обеспечивает увеличение производительности всех технологических линий, конвейеров и механизмов непрерывного действия, а также снижение трудозатрат и повышение безопасности производства.

При этом средний срок службы двигателей со встроенным преобразователем частоты составляет 15 лет, наработка до капитального ремонта в зависимости от условий эксплуатации после приблизительно 18000 часов для VFD-двигателей мощностью до 500кВт при напряжении до 1140В и после 36000 часов для двигателей мощностью свыше 500кВт при напряжении 3300-4160В. Расходы на капитальный ремонт составляют примерно 15% цены нового оборудования.

В масштабах крупных установок, к которым можно отнести лавный и магистральный конвейеры, VFD-технология требует минимума дополнительных капитальных вложений. Несмотря на высокую начальную стоимость оборудования, за счёт перечисленных преимуществ возврат инвестиций происходит за короткое время.

Капитальные затраты на внедрение VFD-электродвигателей для лавных и магистральных конвейеров примерно на 40% выше, чем на внедрение двухскоростного электропривода, однако годовой экономический эффект от их внедрения достаточно большой, что подтверждает опыт шахты им. С.М.Кирова, входящей в ОАО «СУЭК-Кузбасс».

В 2011 году на этой шахте пущен в эксплуатацию первый комплекс лавного оборудования «Джой», управляемый двигателями Breuer-Motoren со встроенным преобразователем частоты мощностью 500кВТ и напряжением 1140В. Весь комплекс спроектирован специально для данной шахты, что обеспечивает полную совместимость всех элементов установки и передачи данных внутри системы автоматизации.

В первый год работы комплекс продемонстрировал высокие эксплуатационные показатели: шахта им. С.М.Кирова заняла лидирующее положение в Кузбассе по уровню добычи угля из одной лавы. После введения в 2012 году второго аналогичного комплекса производительность обеих лав достигла 4 млн. тонн угля в год при среднесуточной производительности от 12000 до 18000 тонн в сутке и нулевом количестве сервисных выездов.

В 2012 году комплекс забойного оборудования мощностью 1200кВт напряжением 3300В успешно внедрён на двух шахтах компании «Шендонг» (КНР). Там VFD-электродвигатели применены для управления скоростью электродвигателей лавного конвейера и перегружателя в диапазоне от 0 до 1800 об/мин. Это дало заметное увеличение производительности (12-30%) и стопроцентный коэффициент готовности системы к эксплуатации, а также отсутствие поломок и связанных с ними простоев, среднюю величину потребляемой двигателями мощности не более 75% от номинальной.

Увеличение производительности конвейера обеспечили: быстрый запуск системы «лавный конвейер-перегружатель»; быстрый разгон цепи (менее 10с); оптимальное распределение нагрузки; регулирование скорости цепного конвейера в зависимости от условий добычи; предотвращение перегрузки дробилки и перегружателя за счёт управления скоростью; недопущение простоев из-за гибкой системы управления; увеличение ресурса двигателей; отсутствие потребности в постоянном обслуживании.

Эффективность использования электропривода с VFD-двигателями значительно повышается при переходе на повышенный уровень напряжения участковых электрических сетей (с напряжения 1140В на напряжение 3300-6000В), поскольку при этом пропорционально увеличивается передаваемая мощность при одновременном уменьшении потерь напряжения в питающем кабеле.

Таким образом, применение на угольных шахтах Кузбасса систем электроприводов со встроенным частотным преобразователем является одним из наиболее перспективных направлений развития энергосберегающих технологий производства.

Список литературы

1. Пугачёв Е.В. Эффективность электротехнических комплексов и систем горных предприятий. Проблемы и пути их решения/ Е.В. Пугачёв, А.С. Тимофеев, Ш.С. Зарипов//Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: Сб. науч. статей Междунар. научно-практич. конф. – Новокузнецк, 2014. – С.192-195.

2. Пугачёв Е.В. Обзор рынка частотно-регулируемых электроприводов со звеном рекуперации электроэнергии в питающую сеть/ Е.В. Пугачёв, П.Р. Нусратов, В.С. Иванов//Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: Сб. науч. статей Междунар. научно-практич. конф. – Новокузнецк, 2014. – С.187-192.

3. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: Учебник – М.: Издательский центр «Академия», 2006. -272 с.

УДК 654.937.7

АППАРАТУРА ШАХТНОЙ СТВОЛОВОЙ СИГНАЛИЗИЦИИ И СВЯЗИ

к.т.н. Пугачёва Э.Е., Каланчин И.Ю.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация: Описывается принцип работы и устройство современной системы шахтной стволовой автоматики, сигнализации и связи, обладающей высоким уровнем автоматизации и позволяющей осуществлять сбор и регистрацию информации обо всех параметрах технологического объекта, взаимодействовать с контроллером подъемной машины и координировать действия персонала. Рассмотрены все основные блоки, входящие в состав аппаратуры, система электропитания, каналы передачи данных, обеспечение искро- и взрывобезопасности.

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, микропроцессорные технологии, программируемый логический контроллер, автоматизированное управление, шахтная стволовая сигнализация.

Подъемная установка, являющаяся связующим звеном между подземными выработками и поверхностью шахты – один из основных элементов технологического процесса горнодобывающего предприятия, обеспечивающих его бесперебойную и оперативную работу. Авария на подъеме способна привести не только к значительным материальным убыткам, но и к гибели людей, поэтому безопасность и надежность – основные требования, предъявляемые к подъемным установкам.

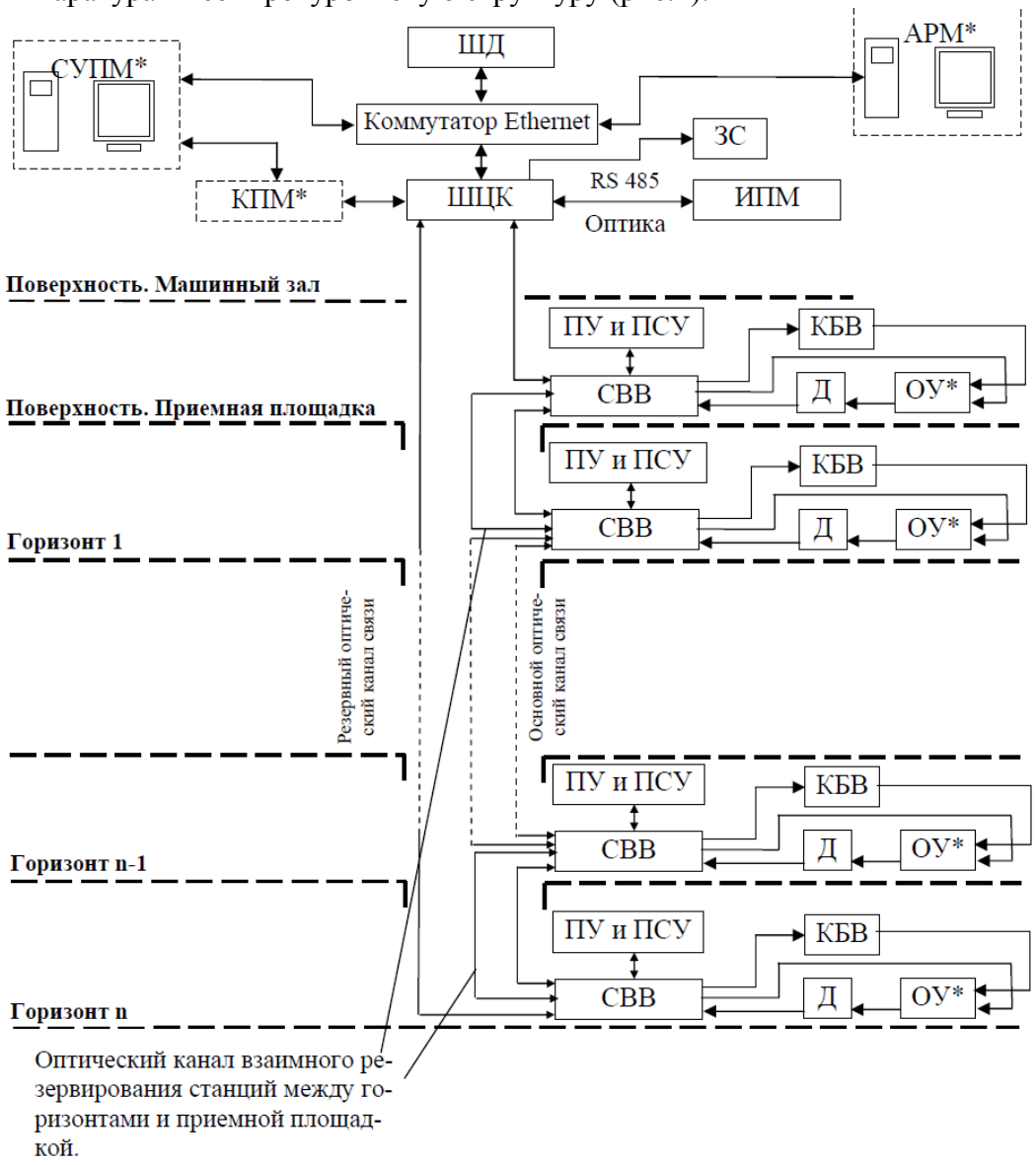
В значительной мере эти требования могут быть соблюдены при использовании на подъёмной установке современной автоматизированной системы управления подъемными машинами на основе бесконтактного способа контроля положения сосудов в стволе, исключающего погрешности от воздействия человека. Система управления автоматически отрабатывает заданный цикл движения клети по стволу и ведет контроль всех механизмов, защит и блокировок подъемной машины. Машинист же подъемной машины задаёт верхнюю и нижнюю приемные площадки посадки и высадки.

К системам такого типа относится аппаратура шахтной автоматики, стволовой сигнализации и связи, разработанная ООО «Ингортех» на базе современных микропроцессорных технологий и программируемых логических контроллеров. Она обеспечивает:

- сбор информации о параметрах и состоянии технологических объектов клетевого подъема;
- хранение информации о параметрах и состоянии оборудования;
- отображение текущих и архивных данных в удобной для восприятия форме;
- обработку и анализ полученной информации;
- обнаружение предаварийных и аварийных ситуаций и предотвращение их опасного развития;
- координацию действий персонала при выполнении операций по спуску-подъёму и при ревизии;
- связь машиниста и обслуживающего персонала отдельных постов;
- требуемые блокировки;
- повышение ресурса функционирования клетевого подъема;
- снижение эксплуатационных затрат.

Указанная аппаратура позволяет управлять подъемной машиной в полуавтоматическом режиме, обеспечивая тем самым двустороннюю связь между машинистом и системой автоматики. Она выполняет функции системы стволовой сигнализации, связи из клети, громкоговорящей и прямой телефонной связи людского, грузо-людского и грузового подъёма на шахтах и рудниках.

Аппаратура имеет трехуровневую структуру (рис.1):



ШЦК - шкаф центральных контроллеров; ШД - шкаф диагностики; ПУ - пульт управления приёмной площадки, пульт управления рабочего горизонта; ПСУ - кнопочный пост помощника рукоятчика или стволового; ИПМ - информационная панель машиниста подъемной машины; СВВ - станция ввода/вывода сигналов с горизонта или приемной площадки; КБВ - электромагнитные клапаны блокировки подачи воздуха; Д- магнитные датчики приближения с памятью и без памяти; ЗС - звуковой сигнализатор; СУПМ - станция управления подъемной машиной; КПМ - контроллер подъемной машины; ОУ - объекты управления (клапаны блокировки подачи воздуха или цепи управления магнитных пускателей); АРМ – автоматизированное рабочее место

Рис 1. Функциональная схема аппаратуры сигнализации

I - датчики, исполнительные механизмы, устройства сигнализации на контролируемых и управляемых объектах;

II - средства вторичного преобразования информации, обеспечивающие преобразование сигналов от технических средств I-го уровня в цифровой код, поступающий на III-й уровень, и преобразование данных с III-го уровня в управляющие воздействия;

III - централизованная обработка данных о контролируемых параметрах и выработка управляющих сигналов программируемыми логическими контроллерами, располагаемыми на поверхности.

Аппаратура позволяет оператору контролировать точное положение клети на горизонте за счет магнитного датчика приближения, осуществлять контроль положения приствольных механизмов, механизмов вагонообмена и клетевых стопоров клети.

Кроме того, она включает в себя функции различных блокировок, а также способна вести самодиагностику центральных контроллеров, всех модулей ввода/вывода, коммуникационных модулей, проводок системы передачи данных и источников электропитания датчиков, цепей подачи световых и звуковых сигналов.

За счет использования резервных датчиков, кабелей связи и питания, двойного набора центральных контроллеров и устройств ввода/вывода сигналов аппаратура имеет функцию резервирования. Независимые источники бесперебойного питания различного напряжения, находящиеся в шкафу центральных контроллеров, обеспечивают работоспособность всей системы от момента исчезновения напряжения основного источника питания до момента переключения на резервный источник питания.

Устройство переключения на резервный источник питания обеспечивает подключение к шкафу двух внешних независимых источников питания переменного тока напряжением 220В промышленной частоты 50Гц. Также обеспечивается питание всех элементов шкафа и информационной панели постоянным током напряжения 12В и 5В. Кроме того, искробезопасные источники питания постоянного тока напряжением 24В снабжают подземные станции, пульты и посты искробезопасным напряжением.

Для питания с поверхности подземных потребителей, входящих в состав аппаратуры, используются контрольные или силовые бронированные кабели с броней, выполненной из круглых проволок, для исключения повреждения и деформации брони под собственным весом. Для передачи сигналов и питания между элементами системы под землей используется шахтные силовые, контрольные или телефонные кабели.

Аппаратура осуществляет передачу данных на автоматизированные рабочие места (АРМ). Передача информации с горизонтов и приемной площадки в шкаф центральных контроллеров осуществляется по интерфейсу с физической средой передачи по бронированному оптоволоконному кабелю, расположенному в стволе. Он позволяет передавать информацию со скоростью 10Мбит/с, причем обмен данными обеспечивается между несколькими устройствами по одной двухпроводной линии связи в полудуплексном режиме.

Устройства приема и передачи данных преобразуют приходящий цифровой сигнал в аналоговый и обратно, обеспечивая передачу информации между поверхностью и горизонтами. Кроме того, устройства осуществляют переключение с основной на резервную ветвь оптического кабеля канала передачи данных в случае ревизии или выхода из строя основной ветви. Подключение датчиков, пультов, постов исполнительных устройств аппаратуры громкоговорящей и телефонной связи, питание подземных потребителей осуществляется проводным соединением по электрическому кабелю.

Центральные контроллеры обеспечивают функции обработки данных и автоматизированного управления процессом передачи сигналов стволовой сигнализации. Основной и резервный контроллеры независимы друг от друга и являются взаимозаменяемыми. Каждый из них выполняет все управляющие функции, переключение между ними происходит безударно и автоматически. Контроллеры программируются для конкретной конфигурации с возможностью проведения полной диагностики автоматизированного комплекса и выполнения аварийных процедур.

Станции ввода/вывода, расположенные на горизонтах, являются промежуточными звеньями в цепи передачи данных между центральными контроллерами, от которых они управляются, и устройствами ввода/вывода (датчиками, лампочками, переключателями). Эти станции не являются отдельно программируемыми устройствами, их конфигурация

ограничена только количеством устройств ввода и вывода. Станции могут осуществлять взаимное резервирование одного горизонта станцией другого горизонта.

Для обеспечения звуковой связи между рабочими, находящимися в движущемся сосуде, и оператором подъемной машины применяется мобильная система индуктивной связи по канатам шахтной подъёмной установки ЕСНО. Эта система позволяет осуществлять двунаправленную, дуплексную голосовую связь, приём и передачу сигналов состояния клетевых стопоров и дверей, датчиков напуска каната и аккумулятора мобильного устройства.

В состав системы связи входят: центральная станция, поверхностные индукционные соединители, мобильные устройства, подземные индукционные соединители системы сигнализации, связи и приема сигналов датчиков из клети, зарядное устройство.

Передача голосовых данных и тональная сигнализация осуществляется по индуктивным дуплексным каналам связи. Основным условием работы системы ЕСНО является наличие замкнутого контура из канатов для протекания тока. Для передачи тоновых сигналов и голосовых данных используется частотная модуляция, при которой несущая частота сигнала изменяется в соответствии с модулирующим колебанием. Под барабаном или перекидным шкивом установлена пара индукционных соединителей, таким образом, чтобы трос проходил через середину соединителей. Один индукционный соединитель работает на передачу данных, а другой на прием. Вторая пара соединителей установлена над сосудом.

Подсистемы громкоговорящей, индуктивной связи, стволовой сигнализации и другие, находящиеся на горизонтах, могут применяться в подземных выработках рудников и шахт, в том числе опасных по газу, пыли и внезапным выбросам, в соответствии с правилами безопасности.

Искробезопасность электрической цепи обеспечивается: питанием от искробезопасного источника постоянного тока напряжением 24В, соответствием путей токов утечки, ограничением внутренней индуктивности и емкости до значений, при которых токи и напряжения в цепях искробезопасны. Шкаф центральных контроллеров также оснащен блоками искрозащиты, выполненными с использованием ограничительных резисторов, шунтирующих управляемых полупроводниковых приборов и шунтирующих стабилитронов.

Взрывонепроницаемая оболочка обеспечивается конструкцией оболочек вводных отделений, которые способны выдержать давление взрыва и исключают его передачу в окружающую взрывоопасную среду. Информационная панель машиниста и шкаф диагностики системы не имеют средств взрывозащиты и устанавливаются в местах, не опасных по рудничному газу.

На данный момент описанная аппаратура шахтной автоматики, стволовой сигнализации и связи внедрена и успешно эксплуатируется на руднике «Интернациональный» АК «Алроса» (г. Мирный), руднике «Северный - Глубокий», принадлежащем ОАО «Кольская ГМК», на шахте «Заполярная» ОАО «Воркутауголь» и на шахте «Распадская», входящей в состав ОАО «Распадская».

Список литературы

1. Сорокин А.А. Средства повышения эффективности и надёжности шахтных подъёмных машин с электроприводом, оснащённым асинхронным электродвигателем с фазным ротором/А.А. Сорокин, Г.А. Ваулин, А.Т. Мещерин, Е.В. Пугачёв//Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: Сб. науч. статей Междунар. научно-практич. конф. – Новокузнецк, 2008. – С.203-209.

2. Иванов А.С. Модернизация шахтных подъёмных установок с электроприводом переменного тока/А.С. Иванов, Е.В. Пугачёв//Металлургия: новые технологии, управление, инновации и качество: Труды Всеросс. научно-практич. конф. – Новокузнецк, 2008. – С.372-374.

3. Пугачёв Е.В. Шахтные многоканатные подъемные установки с электроприводом постоянного тока: учеб. пособие/Е.В Пугачёв., И.В. Семаков; СибГИУ. – Новокузнецк, 2007. – 278 с.

4. Пугачёв Е.В. Шахтные подъемные установки с электроприводом переменного тока: учеб. пособие/Е.В. Пугачёв, А.А. Соловьёва; СибГИУ. – Новокузнецк, 2007. – 238 с.

5. Абрамов М. Микропроцессоры на смену механике/Абрамов М., Шнайдер А. // Технадзор. – 2009, №5(30), 52-53.

6. Касицкий С. Правильный выбор/Касицкий С., Бубликов В., Пагин Е.//Огни «Распадской». – 2012, No.2, 12-15.

УДК 621.311.61:622

АЛГОРИТМ СОПРОВОЖДЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ГЕРМЕТИЧНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Бич Т.А.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Статья посвящена анализу жизненного цикла герметичного аккумулятора в шахтных условиях. Предложенный способ дает обоснование необходимости нового подхода, а отличии от традиционного, к решению проблемы повышения эксплуатационных свойств аккумуляторных источников питания.

Ключевые слова: аккумулятор, источники питания, жизненный цикл, диагностика, ёмкость, изменение напряжения.

Аккумуляторные источники питания (АИП) поступают потребителю с заводов в виде комплектных батарей или отдельных аккумуляторов. Транспортировка, погрузка-разгрузка и предэксплуатационное хранение влияют на техническое состояние АИП, в большинстве случаев не отвечают современным требованиям. Наиболее подходящим является способ транспортировки в специальных контейнерах, исключающих промежуточные перегрузочные операции. При этом будут исключены механические повреждения блока электродов, корпуса аккумулятора и его изоляционного покрытия.

Процесс приведения АИП в рабочее состояние должен содержать определенную последовательность операций. Из отдельных аккумуляторов комплектуются батареи, и осуществляется оценка состояния АИП. В случае если разрядная ёмкость равна или превышает 80% от номинальной ёмкости $Q_н$, т. е. при выполнении условия $Q_{доп} \geq 0{,}8\,Q_н$ батарея передается в эксплуатацию, в противном случае производится повторная формировка батареи с оценкой состояния. В этом случае, если разрядная ёмкость равна или превышает $Q_{доп}$, батарея передается в эксплуатацию, иначе батарея раскомплектовывается.

Операции этого этапа, во многом определяющие работоспособность и эксплуатационную надежность АИП, выполняются, как правило, на несерийном оборудовании с большими затратами времени и электроэнергии. Таким образом, решение задачи создания новых эффективных способов формировки и специальных технических средств их реализации: зарядно-разрядных устройств; тренировочных станций; систем автоматического контроля и регистрации состояния аккумуляторов позволит существенно повысить эксплуатационные характеристики АИП.

На начальном этапе эксплуатации (20-50 циклов) должно осуществляться контролируемое производственное циклирование батарей с оценкой состояния через 10 циклов. В случае если на контрольных циклах разрядная ёмкость батареи становится равной или превышает допустимую, то батарея переводится в основной этап эксплуатации. Иначе она

подвергается тренировке и повторной оценке состояния, и, если вновь не выполняется условие $Q_{факт} \geq Q'_{доп}$, то батарея раскомплектовывается. Для правильной эксплуатации батарей на этом этапе необходимо оснащать шахты зарядно-разрядными устройствами.

Основной этап эксплуатации характеризуется циклированием аккумуляторных источников питания в малом (зарядно-разрядные циклы) и циклирование в большом, которое складывается из чередующихся межремонтных (активных) периодов и ремонтов АИП (пассивных периодов). Срок службы АИП содержит от 2 до 5 «больших» циклов и определяется длительностью межремонтных периодов, составляющих от 200 до 250 «малых» циклов. Особенностью этого этапа эксплуатации батарей является неравномерный износ аккумуляторов и, вследствие этого, постепенная их замена исправными. Поэтому возникает задача определения признаков окончания службы АИП. Реализация основного этапа эксплуатации АИП различного типа и назначения требует тщательного учета особенностей отдельных аккумуляторов.

В зависимости от типа и количества входящих в состав батарей аккумуляторов и от требований эксплуатации режимы заряда и разряда должны быть более или менее индивидуальными. Так как точность выполнения этих режимов оказывает существенное влияние на энергетические, ёмкостные и надежные характеристики АИП, следовательно, и на технико-экономические показатели соответствующего шахтного оборудования. Поэтому при эксплуатации АИП важнейшей задачей является выбор и реализация оптимальных режимов заряда и разряда, обеспечивающих наименьшее время заряда, максимальную отдачу по ёмкости и энергии, наиболее полное использование сообщаемой зарядной ёмкости и эффективное использование энергии АИП при разряде.

Из опыта эксплуатации реальных батарей, состоящих из аккумуляторов с различными энергетическими параметрами видно, что одна часть аккумуляторов может недозаряжаться, а другая перезаряжаться, что является основной причиной несогласованности режима заряда с требованиями восстановления энергоресурса. Устранить недостаток вместе с соблюдением требований комплектовки батареи из аккумуляторов с одинаковыми или близкими характеристиками можно применением новых способов заряда. Поиск новых способов заряда должен осуществляться в направлении формирования режима заряда с учетом индивидуальных свойств и технического состояния АИП.

С целью определения необходимости проведения ремонтов соответствующих уровней в основном этапе эксплуатации АИП проводятся периодические тренировочные и тренировочно–восстановительные циклы с последующими контрольными циклами.

Техническое обслуживание и ремонт АИП первого уровня производится в условиях шахты, и предусматривает исправление или замену поврежденных деталей и аккумуляторов, ёмкость которых не восстанавливается с помощью тренировочно–восстановительного циклирования. Техническое обслуживание и ремонт второго уровня осуществляется высококвалифицированным персоналом в специально оборудованных мастерских или цехах, объединенных по территориальному признаку. Качество приведения указанных операций оказывает решающее влияние на работоспособность АИП, поэтому они должны выполняться по высокоэффективной типовой технологии, основанной на применении наиболее совершенных методов и технических средств.

Тренировочно–восстановительное циклирование включает в себя следующие операции:

– первый тренировочный зарядно-разрядный цикл (заряд током 1А в течении 10 часов до напряжения на аккумуляторе 1,55В и разряд током 1А до 1,0В);

– второй тренировочно–разрядный цикл проводится индивидуально для каждого аккумулятора (в зависимости от величины фактической разрядкой, определенной в первом цикле);

– комплектация батарей по фактической разрядной ёмкости аккумуляторов, полученной во втором этапе.

Аккумуляторное хозяйство шахт и производственных объединений включает в себя множество АИП, находящихся на различных этапах жизненного цикла, и сопровождается вводом в эксплуатацию новых и выводом вышедших из строя, а также потреблением электроэнергии, запасных частей и материалов. Поэтому возникает необходимость согласованности таких разноплановых и разновременных процессов, что обуславливает комплекс требований к системе управления, учитывающих особенности производства.

Рассмотрение аккумуляторного хозяйства шахт и производственных объединений как оптимизируемой и управляемой системы во многом определяется выбором показателя эффективности функционирования.

В условиях шахт производственного объединения отдельные агрегаты и аппаратура, решавшие частные задачи, структурно и функционально объединяются в единую систему электрооборудования, совокупно выполняющую функцию преобразования, передачи и потребления электроэнергии на всех этапах функционирования. Комплекс электрооборудования состоит из функционально активных агрегатов непрерывного и дискретного действия и пассивных элементов и является многомерной и многосвязной системой автоматического регулирования и автоматического управления.

Автоматизированная система экспресс–диагностики технического состояния герметичных аккумуляторов внедрена в производственный комплекс технического обслуживания, алгоритм работы которого представлен на рис. 1. Данный комплекс предназначен для обслуживания аккумуляторов, бывших в эксплуатации.

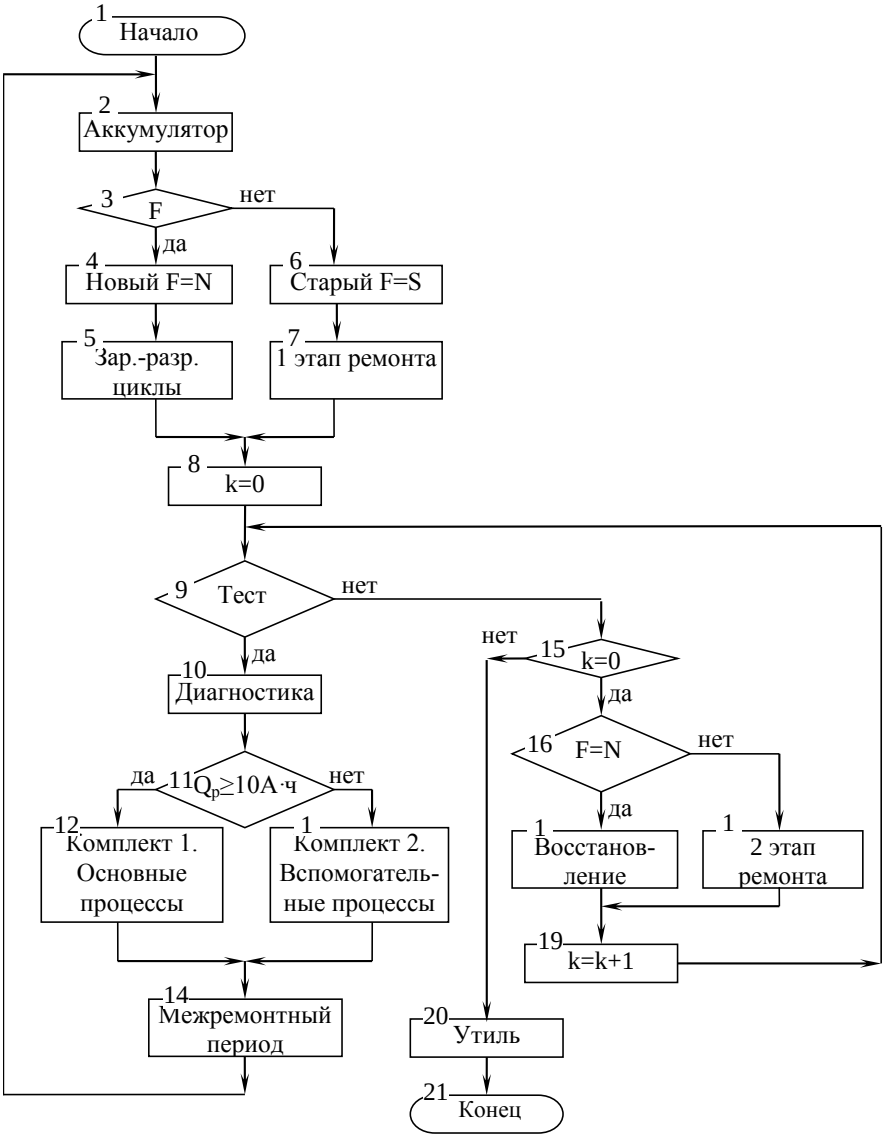


Рис. 1. Алгоритм обслуживания герметичных аккумуляторов

В алгоритме предусмотрены два этапа ремонта аккумуляторов: механический ремонт и активное воздействие, а также процедура восстановления по специальной методике. Аккумуляторы, успешно прошедшие ремонт или восстановление, повторно подвергаются диагностированию с заключением об их дальнейшей эксплуатации.

Повторение процедуры восстановления или ремонта герметичных аккумуляторов не предусмотрено, так как аккумуляторы повторной реанимации не подлежат.

Реализация алгоритма сопровождения жизненного цикла герметичных аккумуляторов в виде реального объекта производственного комплекса по их техническому обслуживанию требует разработки соответствующих ему технических средств и алгоритмов их управления.

В связи с этим, возникает необходимость нового подхода, в отличие от традиционного, к решению проблемы повышения эксплуатационных свойств аккумуляторных источников питания.

Список литературы

1. Пугачев Е.В. Аккумуляторные источники питания: математические модели, характеристики. – Кемерово: Издательство КузГТУ, 1999, - 248 с, ил.

2. Таганова А.А. Диагностика герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов – универсальный алгоритм их отбора в батареи. Дисс…канд. техн. наук. – Ленинград, 1990.

3. Тимофеев А.С. Разработка способа и технических средств диагностики герметичных аккумуляторов шахтного назначения по энергетическим характеристикам. – Дисс. … канд. техн. наук. – Новокузнецк, 1999. – 148с.

УДК 62-503.57+681.518.5:622.23.05

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ, КПД И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ

д.т.н. Островлянчик В. Ю., Поползин И. Ю.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация: В работе приводится описание схем замещения асинхронного двигателя, построены векторные диаграммы контура намагничивания и рабочего контура асинхронной машины, приведены соотношения, позволяющие выразить коэффициент мощности асинхронного двигателя, КПД и электромагнитный момент через его номинальные параметры при неизменной частоте питающего напряжения.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, схема замещения, коэффициент мощности, коэффициент полезного действия, электромагнитный момент, электромеханическое преобразование энергии.

При определении энергетических характеристик асинхронного электродвигателя необходимо идентифицировать основные показатели электромеханического преобразования энергии в машине: коэффициент мощности двигателя, КПД двигателя и развиваемый двигателем электромагнитный момент. Данная задача особенно актуальна для электродвигателей рудничных подъемных установок, поскольку такие установки имеют диапазон регулирования скорости 30 и выше, и для них особенно важно оптимальное использование установленной мощности.

Предлагаемый подход основан на методе схем замещения асинхронной машины, при котором проводится аналогия между асинхронным двигателем (АД) и трансформатором. Данная аналогия возможна по причине того, что электромагнитные процессы, протекающие в обеих машинах, схожи [1 - 3]. При этом АД с заторможенным ротором полно-

стью эквивалентен однофазному трансформатору в режиме холостого хода, а связь схем замещения для неподвижного и вращающегося ротора осуществляется через скольжение.

При использовании аналогии между АД и трансформатором следует принять определенные допущения, поскольку между электромагнитными процессами в трансформаторе существуют отличия. Данные допущения практически не влияют на корректность получаемой математической модели для подавляющего большинства практических задач:

1) Магнитная проницаемость сердечника машины равна бесконечности.

2) Распределение полей самоиндукции и взаимной индукции обмоток принимается синусоидальным вдоль окружности машины.

3) Обмотки статора и ротора машины симметричны, т.е. фазные обмотки ротора (статора) имеют равные активные сопротивления и обмоточные параметры.

4) Магнитная система машины не насыщена, т.е. работа происходит на линейном участке кривой намагничивания.

При использовании схем замещения фаза АД представляется в виде Т-схемы замещения. При этом выделяются ветвь статора (обозначаемая индексом 1 или *s*), ветвь ротора (обозначаемая индексом 2 или *r*) и ветвь намагничивания (обозначаемая индексом μ) (рис. 1).

В [1, 2] отмечается, что намагничивающая ветвь без особой погрешности может быть вынесена на выводы напряжения сети, в результате чего Т-схема преобразуется к Г-схеме замещения. Погрешность такого преобразования невелика потому, что в Г-схеме замещения не учитывается только влияние падения напряжения на сопротивлениях обмотки статора от тока намагничивания I_μ на ток ротора, причем намагничивающий ток принимается постоянным (рис. 1).

Параметры ротора, входящие в схему замещения АД приведены к статору. Их связь с реальными переменными осуществляется через коэффициент трансформации асинхронной машины

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 k_1}{w_2 k_2}, \qquad (1)$$

где E_1 - ЭДС, наводимая магнитным потоком в статоре; E_2 - ЭДС, наводимая в неподвижном роторе; w_1, w_2 - число витков одной фазы обмотки статора и ротора соответственно; k_1, k_2 - обмоточные коэффициенты.

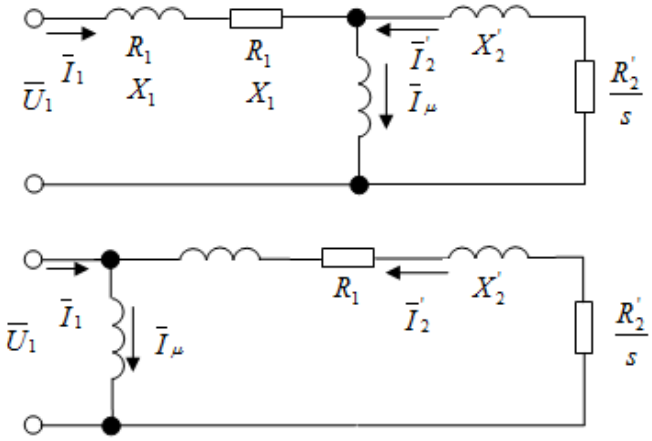


Рис. 1. Схемы замещения асинхронного электродвигателя: а – Т-схема; б – Г-схема

В [1] отмечается, что значения обмоточных коэффициентов для обмоток близки по значению, поэтому без особой погрешности коэффициент трансформации может быть определен как $k = \frac{w_1}{w_2}$.

Приведение роторных величин к статорным осуществляется следующим образом:

$$\begin{cases} R_2^{'} = R_2 k^2; \\ I_2^{'} = k I_2. \end{cases} \quad (2)$$

Реактивное сопротивление обмоток статора и ротора определится как:

для статора: $X_1 = 2\pi f \Psi_1$; (3а)

для ротора: $X_2 = 2\pi f_2 \Psi_2 = 2\pi s f \Psi_2$, (3б)

где f – частота поля статора (частота питающего напряжения); $f_2=sf$ – частота поля ротора; Ψ_1, Ψ_2 – потокосцепления обмоток статора и ротора.

Из выражений 3а и 3б следует, что, зная потокосцепления статора и ротора в каком-либо режиме, можно пересчитать их для других режимов. В Г-схеме зависимость реактивного сопротивления обмотки ротора от скольжения учитывается в величине R_2'/s (при этом сохраняется инвариантность полного сопротивления и мощности).

В такой схеме справедливы следующие соотношения:

$$\begin{cases} \bar{U}_1 = \bar{I}_1 R_1 + j\bar{I}_1 X_1 + \bar{E}_1; \\ \bar{E}_2^{'} = \bar{I}_2^{'} R_2^{'} / s + j\bar{I}_2^{'} X_2^{'}; \\ \bar{I}_\mu = \bar{I}_1 + \bar{I}_2, \end{cases} \quad (4)$$

где $\bar{U}_1$ - комплексное значение напряжения сети; $\bar{I}_1$ - комплексное значение тока статора; $\bar{I}_2^{'}$ - комплексное приведенное значение тока ротора; $\bar{I}_\mu$ - комплексное значение тока намагничивания; $\bar{E}_1$ - комплексное значение ЭДС, наводимой в статоре; $\bar{E}_2$ - комплексное приведенное значение ЭДС, наводимой в роторе; R_1, X_1 - активное и реактивное сопротивления обмотки статора; $R_2^{'}$, $X_2^{'}$ - приведенные активное и реактивное сопротивления обмотки ротора.

Скольжение определяется выражением

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (5)$$

где ω_0, ω - скорости вращения поля и ротора соответственно.

На основании Г-схемы и соотношений (4) с учетом принятых допущений могут быть построены векторные диаграммы АД. Рассмотрим векторную диаграмму намагничивающей ветви (рис. 2).

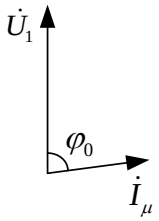


Рис. 2. Векторная диаграмма намагничивающей ветви Г-схемы замещения

В Г-схеме замещения ток намагничивания постоянен и отстает от напряжения на угол φ_0, равный примерно 90° из-за значительной индуктивности обмоток статора:

$$\begin{aligned} I_\mu &= \frac{U_1}{Z_m + Z_1} \approx const; \\ \varphi_0 &= arctg \frac{X_\mu + X_1}{R_\mu + R_1} \approx \left| X_\mu + X_1 >> R_\mu + R_1 \right| \approx 90°. \end{aligned} \quad (6)$$

Теперь рассмотрим контур, по которому замыкается приведенный ток ротора (см. рис. 1б). В [1] данный контур назван рабочим. Векторная диаграмма рабочего контура представлена на рис. 3.

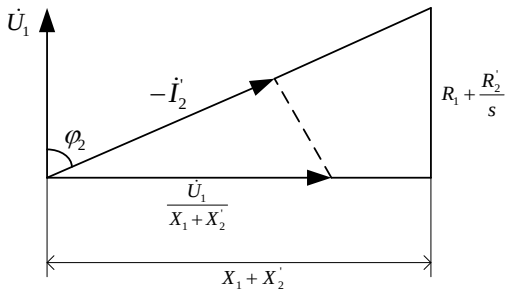


Рис. 3. Векторная диаграмма рабочего контура Г-схемы замещения АД

Угол φ_2 может быть определен непосредственно по диаграмме

$$\varphi_2 = \arcsin\frac{I_2'\left(X_1+X_2'\right)}{U_1} = arctg\,\frac{X_1+X_2'}{R_1+\dfrac{R_2'}{s}}. \qquad (7)$$

Определим коэффициент мощности ротора. Для этого воспользуемся тождеством $1+tg^2\alpha=\dfrac{1}{\cos^2\alpha}\Leftrightarrow\cos\alpha=\sqrt{\dfrac{1}{1+tg^2\alpha}}$ с учетом того, что $tg\varphi_2=\dfrac{X_1+X_2'}{R_1+\dfrac{R_2'}{s}}$:

$$\cos\varphi_2 = \sqrt{\frac{1}{1+\left(\dfrac{X_1+X_2'}{R_1+\dfrac{R_2'}{s}}\right)^2}}. \qquad (8)$$

С учетом выражений (3а), (3б) можно сделать вывод, что коэффициент мощности зависит от текущего скольжения и от частоты питающего напряжения и может быть рассчитан, если известны значения активных сопротивлений и потокосцеплений статора и ротора в каком-либо режиме.

Активная мощность, передаваемая ротору полем статора и идущая на формирование крутящего момента, в соответствии с диаграммой на рисунке 3, может быть определена следующим образом

$$P_2 = \frac{3U_1^2R_2'/s}{\left(R_1+R_2'/s\right)^2+\left(X_1+X_2'\right)^2}. \qquad (9)$$

КПД двигателя определяется соотношением между подведенной к статору мощностью, идущей на формирование магнитного поля в воздушном зазоре машины, и мощностью, идущей на формирование электромагнитного момента ротора

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}. \qquad (10)$$

Активная мощность, подведенная к статору, определяется следующим выражением

$$P_1 = 3U_1I_1\cos\varphi_1, \qquad (11)$$

где U_1 – напряжение на статоре двигателя; I_1 – протекающий по обмотке статора ток; φ_1 – фазовый сдвиг между напряжением на статоре и током фазы статора.

Мощность, идущая на формирование крутящего момента, равна мощности, подведенной к статору, за вычетом постоянных и переменных потерь в статоре и роторе и потерь в воздушном зазоре машины. С учетом того, что потери в роторе определяются ЭДС

индукции в нем, зависящей от скольжения, то, опуская промежуточные выражения [3], КПД передачи мощности магнитного поля к валу ротора равен

$$\eta_{\mu} = 1 - s. \tag{12}$$

С учетом КПД передачи мощности поля к ротору, запишем выражение для полезной мощности двигателя

$$P_2 = (1-s)(P_1 - \Delta P_C - \Delta P_U), \tag{13}$$

где P_c – постоянные потери; P_U – переменные потери [2].

Воспользуемся методикой, предложенной в [2] для энергетического расчета асинхронного двигателя, основанной на пересчете потерь в номинальном режиме для других режимов. В этом случае постоянные потери определятся выражением

$$\Delta P_C = 3I_{10}^2 R_{1\Sigma}\left(\frac{\Phi_{\mu}}{\Phi_{\mu ном}}\right)^2 + \Delta P_{стном}\left(\frac{\Phi_{\mu}}{\Phi_{\mu ном}}\right)^2\left(\frac{f_1}{f_{1ном}}\right)^{1,3}(1+s)^{1,3} + \Delta P_{мехном}\frac{\omega}{\omega_{ном}}, \tag{14}$$

где I_{10} – ток статора в режиме холостого хода; Φ_{μ}, $\Phi_{\mu ном}$ – текущее и номинальное значение магнитного потока статора; f_1, $f_{1ном}$ – текущее и номинальное значения частоты напряжения на статоре; ω, $\omega_{ном}$ – текущее и номинальное значения угловой скорости вала двигателя; $\Delta P_{стном}$ – номинальные потери в стали; $\Delta P_{мехном}$ – номинальные механические потери.

В (14) первое слагаемое учитывает потери от тока намагничивания, протекающего по обмоткам статора. Потери в стали для статора принимаются примерно равным таковым для ротора в силу того, что объемы стали статора и ротора практически равны [2]. Таким образом, для определения постоянных потерь по выражению (14) необходимо иметь номинальные данные двигателя и результаты опыта холостого хода.

Переменные потери определятся как

$$\Delta P_U = 3I_1^2 R_{1\Sigma} + 3I_2'^2 R'_{2\Sigma} = 3I_1^2 R_{1\Sigma}\left(1 + \frac{R'_{2\Sigma}}{R_{1\Sigma}}\right). \tag{15}$$

При использовании выражения (15) принимается, что ток статора равен току ротора, поскольку потери от тока намагничивания уже учтены в выражении для постоянных потерь (14) (также см. рис. 1б и (4)).

Из (14) и (15) следует, что полные потери двигателя рассчитываются как

$$\Delta P = \Delta P_C + \Delta P_U = 3I_{10}^2 R_{1\Sigma}\left(\frac{\Phi_{\mu}}{\Phi_{\mu ном}}\right)^2 + \Delta P_{стном}\left(\frac{\Phi_{\mu}}{\Phi_{\mu ном}}\right)^2\left(\frac{f_1}{f_{1ном}}\right)^{1,3}(1+s)^{1,3} + \Delta P_{мехном}\frac{\omega}{\omega_{ном}} + 3I_1^2 R_{1\Sigma}\left(1 + \frac{R'_{2\Sigma}}{R_{1\Sigma}}\right). \tag{16}$$

Таким образом, с учетом (9), (10), (13) и (16), КПД машины может быть определен как

$$\eta = (1-s)\left[1 - \left(\frac{3I_{10}^2 R_{1\Sigma}\left(\frac{\Phi_{\mu}}{\Phi_{\mu ном}}\right)^2 + \Delta P_{стном}\left(\frac{\Phi_{\mu}}{\Phi_{\mu ном}}\right)^2\left(\frac{f_1}{f_{1ном}}\right)^{1,3}(1+s)^{1,3} + \Delta P_{мехном}\frac{\omega}{\omega_{ном}} + 3I_1^2 R_{1\Sigma}\left(1 + \frac{R'_{2\Sigma}}{R_{1\Sigma}}\right)}{3U_1 I_1 \cos\varphi_1}\right)\right]. \tag{17}$$

Выражение (17) позволяет осуществлять определение КПД двигателя в любом режиме, а входящие в него координаты и параметры могут быть легко измерены. Определенную сложность представляют лишь расчеты магнитных потоков, однако эти расчеты могут быть проведены с использованием кривой намагничивания двигателя.

Перейдем в выражении (4) от изображающих векторов к действующим значениям, руководствуясь известными соотношениями для комплексных сопротивлений. После преобразований получим:

$$X_к = X_1 + X_2^{'}; \tag{18}$$

$$I_2^{'} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2^{'}/s)^2 + X_K^2}}; \tag{19}$$

$$P_{12} = 3I_2^{'2}R_2^{'}/s = \frac{3U_1^2 R_2 s}{\left(R_1 + R_2^{'}/s\right)^2 + X_к^2} = M\omega_0; \tag{20}$$

$$M = \frac{3U_1^2 R_2^{'}}{\omega_0 s\left[(R_1 + R_2^{'}/s)^2 + X_K^2\right]}. \tag{21}$$

Для определения момента двигателей с фазным ротором, в которых ток ротора поддается измерению, можно использовать модификацию выражения (21). Выразив из (19) значение U_1 и подставив его в выражение (21), получим:

$$\begin{gathered} I_2^{'} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2^{'}/s)^2 + X_K^2}} \Rightarrow U_1 = I_2^{'}\sqrt{(R_1 + R_2^{'}/s)^2 + X_K^2}; U_1^2 = I_2^{'2}\left[(R_1 + R_2^{'}/s)^2 + X_K^2\right]; \\ M = \frac{3U_1^2 R_2^{'}}{\omega_0 s\left[(R_1 + R_2^{'}/s)^2 + X_K^2\right]} = \frac{3I_2^{'2}\left[(R_1 + R_2^{'}/s)^2 + X_K^2\right]R_2^{'}}{\omega_0 s\left[(R_1 + R_2^{'}/s)^2 + X_K^2\right]}; \Rightarrow M = \frac{3I_2^{'2}R_2^{'}}{\omega_0 s}. \end{gathered} \tag{22}$$

Однако для двигателей с короткозамкнутым ротором ток ротора прямому измерению не поддается, поэтому использовать выражение (22) и его модификации не представляется возможным.

Рассмотрим Г-схему (см. рис. 1) и векторные диаграммы мощности асинхронной машины [3]. Потребляемая двигателем из сети полная мощность определяется как

$$S = 3U_1 I_1. \tag{23}$$

Поскольку падение напряжения на активном сопротивлении статора и влияние магнитного рассеяния при принятых допущениях невелико [3], то можно считать, что мощность, потребляемая статором из сети, полностью передается вращающемуся магнитному полю с учетом паспортного КПД двигателя. Мощность вращающегося поля, передаваемая ротору машины, расходуется на полезную работу (формирование крутящего момента двигателя) и на потери в роторе [3]. С учетом (12) и изложенных при определении коэффициента мощности соображений мощность, передаваемая от сети к валу двигателя

$$P_2 = 3U_1 I_1 \eta_{ДВ} \cos\varphi_2 (1 - s). \tag{24}$$

С учетом (20):

$$\begin{gathered} M\omega = 3U_1 I_1 \eta_{ДВ} \cos\varphi_2 (1 - s); \\ M = \frac{3U_1 I_1 \eta_{ДВ} \cos\varphi_2 (1 - s)}{\omega}. \end{gathered} \tag{25}$$

Коэффициент мощности $\cos\varphi_2$ может быть определен по выражению (8).

Для проверки полученных соотношений были произведены расчеты и моделирование для двигателя MTF-111-6. В соответствии с выражением (8) расчетный коэффициент мощности в номинальном режиме составил 0,74

Погрешность расчетного значения коэффициента мощности относительно паспортного составит

$$\Delta(\cos\varphi_2) = \frac{\cos\varphi_{2расч} - \cos\varphi_{2пасп}}{\cos\varphi_{2пасп}} = \frac{0{,}74 - 0{,}73}{0{,}73} = 0{,}013 = 1{,}3\%.$$

График зависимости коэффициента мощности двигателя от скольжения при номинальной частоте питающей сети в соответствии с выражением (8) приведен на рис. 4. По-

грешность определения КПД двигателя в номинальном режиме по выражению (17) относительно паспортного значения составила 2,7%.

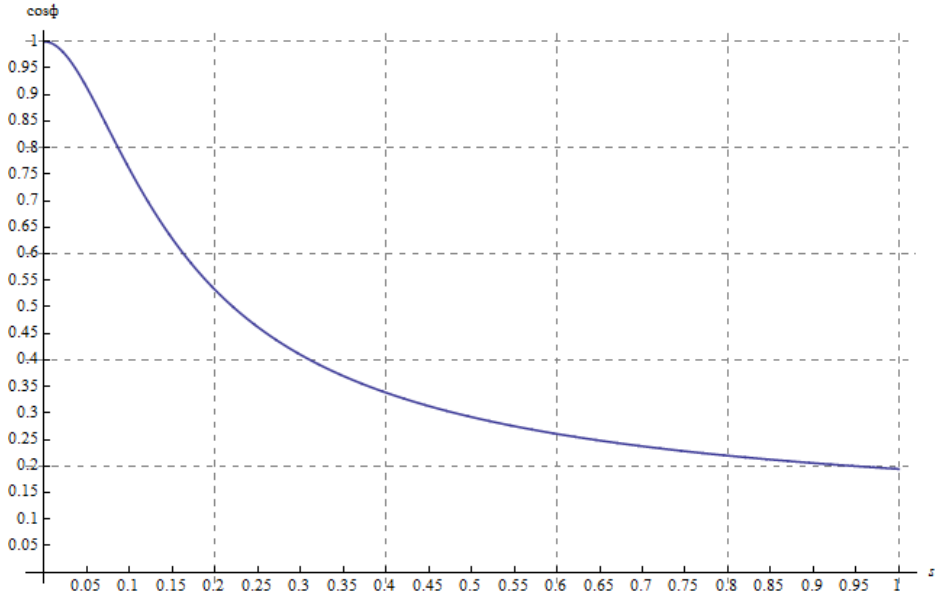


Рис. 4. Экспериментальная зависимость коэффициента мощности от скольжения

Экспериментальная зависимость КПД двигателя от скольжения приведена на рис. 5. На рис. 6 приведены переходные процессы для расчетного и действительного значений электромагнитного момента машины.

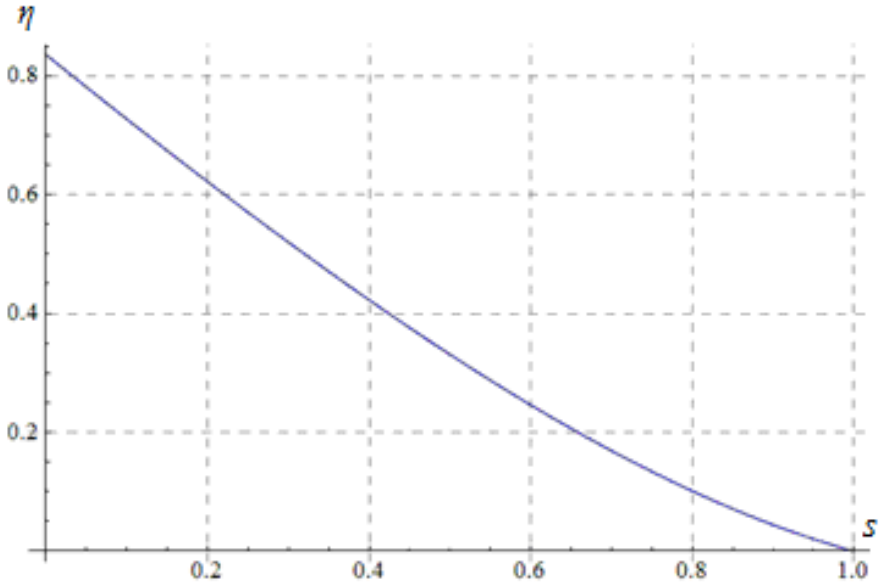
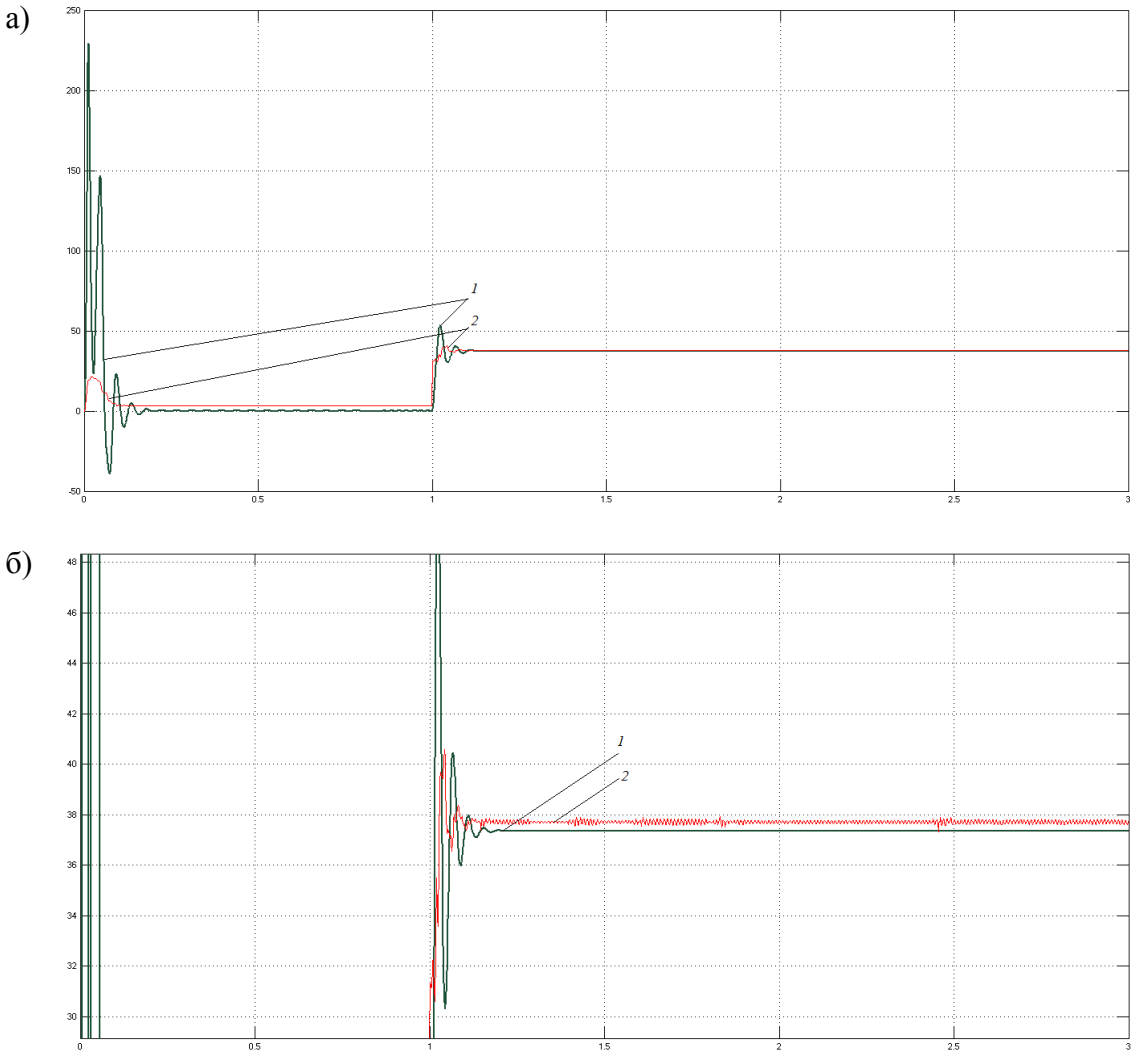


Рис. 5. Экспериментальная зависимость КПД двигателя от скольжения

Выражение (25) в установившемся режиме дает погрешность 0,96%, причем значение момента завышено, что объясняется принятыми допущениями, а, следовательно, пренебрежением некоторыми потерями.

Полученные соотношения (8), (17) и (29) позволяют с достаточной для практики точностью определять коэффициент мощности, КПД и электромагнитный момент асинхронного двигателя в режиме работы с неизменной частотой питающей сети без использования двухфазной модели обобщенной электрической машины и координатных преобразований.



1 – реальная кривая переходного процесса момента
2 – расчетная кривая переходного процесса момента по формуле (25)

Рис. 6. Результаты моделирования: а) Переходный процесс при пуске двигателя и приложении нагрузки; б) При приложении нагрузки и в установившемся режиме

Список литературы

1. Брускин Д. Э., Зорохович А. Е., Хвостов В. С. Электрические машины. Часть 1 [Текст]/ Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов. – М.: ВШ, 1979. – 288 с.
2. Ключев В. И. Теория электропривода [Текст]/ В. И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
3. Круг К. А. Основы электротехники. Том второй. Теория переменных токов [Текст]/ К. А. Круг – М., Л.: Государственное энергетическое издательство, 1946. – 636 с.
4. Важнов А. И. Переходные процессы в машинах переменного тока [Текст]/ А. И. Важнов. – Л.: Энергия, 1980. – 256 с.
5. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты [Текст]/ Р. Т. Шрейнер. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.
6. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин [Текст]/ И. П. Копылов. – М.: ВШ, 2001. – 327 с.

УДК 621.313.2

УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ СО ШКИВОМ ТРЕНИЯ ОТ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ КАНАТОВ

[1]к.т.н. Савельев А.Н., [1]к.т.н. Кипервассер М.В., [2]Аниканов Д.С.
1 - Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
2 - ООО «Пуско-наладочное управление ОК «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Рассмотрена методика контроля аварийных режимов шахтного подъемного механизма. Описан процесс преобразования мощности и приведены примеры аварийных ситуаций и колебания контролируемых параметров. Предложено устройство защиты, основанное на контроле электрических параметров привода.

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, проскальзывание каната, двигатель постоянного тока, генератор постоянного тока.

Клетевые и скиповые шахтные подъемы относятся к основным технологическим агрегатам, обеспечивающим работу подземных горнодобывающих предприятий. От их надёжной и безотказной работы зависят безопасность и производительность предприятия в целом.

Узлы и агрегаты подъемных установок в процессе работы подвергаются значительным нагрузкам, действие которых приводит к постепенному износу и выходу из строя механизма по тем или иным причинам. Доступ к быстро изнашивающимся узлам и деталям агрегата у персонала установки ограничен, что исключает непрерывную оценку их состояния. По этой причине возникающие неисправности и аварии выявляются несвоевременно, а их характер устанавливается зачастую неверно, что многократно увеличивает потери производства. В этой связи своевременное и точное определение места и характера повреждения является важной для производства задачей. В сложившихся условиях для постоянной оценки состояния клетевых и скиповых шахтных подъемов может быть использован метод энергетической оценки работы привода [1].

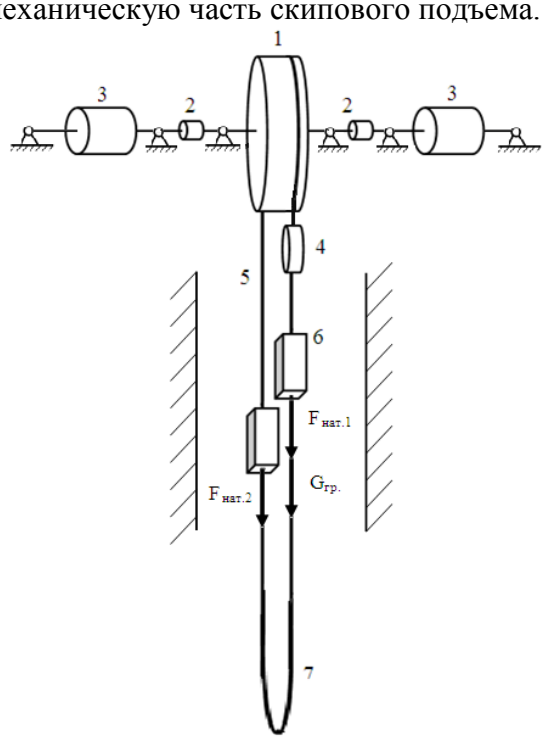
Рассмотрим работу одного из основных механизмов, обеспечивающих технологический процесс рудной шахты – скипового подъема со шкивом трения [2]. Этим термином объединяется довольно сложный комплекс узлов и агрегатов включающий:

- коренную часть подъема (рис. 1) (барабан, тормозные устройства, опорные подшипники и т.д.);
- подъемные сосуды (скипы) с прицепными устройствами и канатами;
- загрузочные устройства (дозаторы), шахтный ствол с направляющими проводниками, разгрузочные «кривые»;
- электрический двухдвигательный привод постоянного тока со схемой управления.

В течение технологической смены механизм не обслуживается технологическим персоналом за исключением машиниста скипового подъема, наблюдающего за всем комплексом механизмов шахтного подъема с пульта управления. При этом существует несколько схем, приборов и устройств, контролирующих отдельные узлы или аварийные ситуации подъемной установки. Так, для контроля проскальзывания канатов используются схемы, сравнивающие скорости вращения канатоведущего и отклоняющего шкивов. Иногда дополнительно измеряются скорости скипов [3].Схемы предполагают использование значительного количества оборудования, но контролируется при этом лишь часть возможных неисправностей.

Контроль аварийных режимов движения скипа обычно выполняют разного рода датчики: переподъема 1-го и 2-го положения скипа, массы груза в скипе, износа тормозных колодок, превышения скорости и пр. Общее количество датчиков на скиповом

подъеме достигает двадцати. Подобное количество датчиков весьма усложняет принципиальную и монтажную схемы электрооборудования. Сами датчики не очень надежные в эксплуатации, располагаются в труднодоступных, иногда опасных зонах и также могут служить причиной отказа. С другой стороны, сравнительно с количеством возможных причин неисправностей и отказов, такое количество регистраторов явно не достаточно. Для сравнения: число аварийных режимов только в самом электроприводе, который контролирует схема защиты электропривода, составляет более сорока. Причем в большинстве случаев для регистрации аварийной ситуации используется информация всего о четырех параметрах электропривода: токе якорной цепи двигателей, токе обмоток возбуждения, напряжении якоря двигателей и их частоте вращения. Было бы весьма удобно, опираясь на результаты работ [1,4], распространить действие схем защиты электродвигателей на механическую часть скипового подъема.



1 – шкив; 2 - муфты; 3 - приводные двигатели постоянного тока; 4 - отклоняющий шкив; 5 - канаты; 6 - скипы; 7 - уравновешивающие резинотросовые ленты

Рис. 1. Кинематическая схема скипового подъема со шкивом трения

Для применения этого метода контроля необходимо иметь в виду, что работа скипового подъема сопровождается процессом преобразования одного вида энергии в другой. Электрическая энергия источника (электрической сети) преобразуется в энергию вращательного движения на валу электродвигателя и далее используется в механизме для совершения полезной работы. Количество энергии, преобразованной из одной формы в другую, согласно закону её сохранения с учетом потерь, должно быть одинаковым в любой интервал времени. Величины мощностей различных процессов описываются следующими известными выражениями:

– мощность трехфазной сети переменного тока:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi, \quad Bm, \tag{1}$$

где U – линейное напряжение сети, В; I – фазный ток сети, А; cos φ – коэффициент мощности;

– мощность (электрическая) на зажимах постоянного тока преобразователя и цепи якоря приводного двигателя:

$$P_2 = U \cdot I, \quad Bm, \tag{2}$$

где U – напряжение якорной цепи, В; I – ток якорной цепи, А;

– механическая мощность на валу двигателя:

$$P_3 = M \cdot \omega, \quad Bm, \tag{3}$$

где M – механический момент электродвигателя, Н·м; ω – угловая частота вращения вала, $с^{-1}$;

– суммарная мощность движущихся и вращающихся частей механизма:

$$P = (F_{нат1} - F_{нат2}) \cdot \upsilon + J \cdot \omega \cdot \varepsilon, \tag{4}$$

где $F_{нат1}, F_{нат2}$ - силы натяжения канатов, Н; υ – линейная скорость скипов; ω – частота вращения вала двигателя; J – приведенный момент инерции; ε – угловое ускорение привода.

Магнитный поток в процессе работы не регулируется и остается практически постоянным. Следовательно, величина момента на валу прямо пропорциональна току якорной цепи, и, контролируя последний, можно точно судить о механических нагрузках в приводе подъема.

Любая из аварийных ситуаций приводит к отклонению величины механического момента на валу электродвигателей подъема от штатного, нормального значения [1]. Как следствие, меняется ток якоря приводного электродвигателя.

Возникшее на диаграмме тока отклонение от нормальных значений дает четкую информацию о месте возникновения неисправности и ее тяжести. При выполнении дополнительных исследований, возможна идентификация большинства видов неисправности механической части агрегата, так как характер отклонения тока от нормальных значений связан с типом неисправности вышеупомянутой механической части [5].

Устройство для предупреждения аварийных явлений, основанное на контроле электрических параметров двигателя, будет иметь вид и набор структурных элементов, приведенных на рис. 2.

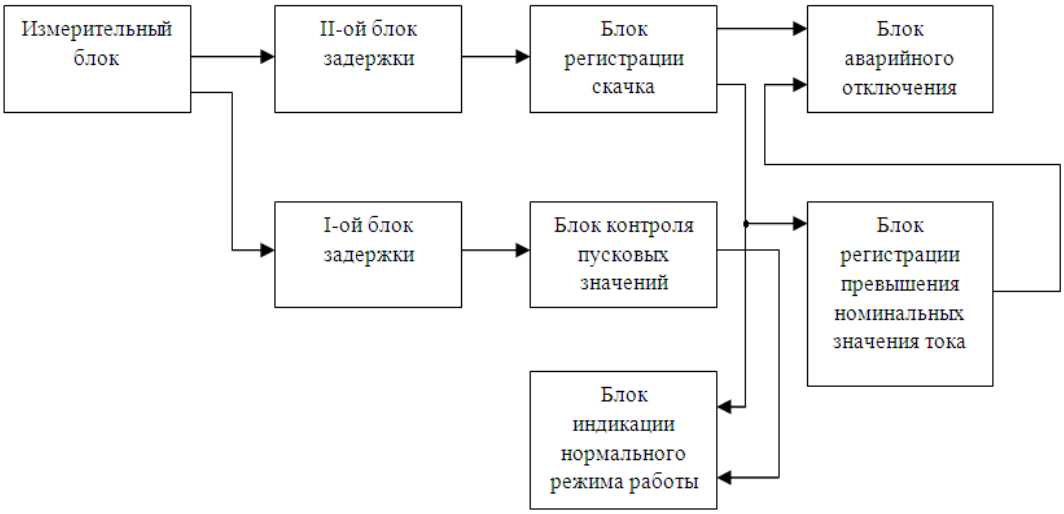


Рис. 2. Блок-схема устройства защиты от проскальзывания каната

Такого рода устройство способно распознавать начальный этап аварийного режима, по колебанию контролируемой величины тока. Принцип работы устройства основан на контроле действующих значений тока, при помощи токоизмерительного шунта. Далее выходной сигнал из измерительного блока поступает на входы первого и второго блоков задержки, служащих для обеспечения выдержки времени при пуске механизма. При появлении в диаграмме тока отклонения от нормальных значений устройство формирует аварийный сигнал на отключение привода и остановку подъема.

Список литературы

1. К обоснованию комплексного метода оценки степени работоспособности современных технологических объектов / Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Аниканов Д.С.// Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 12. С. 37 – 41.

2. Шахтный подъем / Бежок В.Р., Дворников В.И., Манец И.Г., В.А. Пристром – Донецк Юго-Восток, 2007. – 626 с.

3. Техническая диагностика механического оборудования / В.А. Сидоров, В.М. Кравченко, В.Я. Седушин. – Донецк: Новый мир, 2003. – 125 с.

4. Распознавание аварийных ситуаций механического оборудования с электроприводом постоянного тока / Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Ижелевская О.В.// Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 6. С. 42 – 45.

5. Об использовании метода контроля состояния машин технологических агрегатов по энергетическим параметрам привода / Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Аниканов Д.С. Реморов В.Е. // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2013. - № 12. – С. 31 – 33

УДК 621.3

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ГОРНО-ШАХТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

к.т.н. Кузнецова Е.С., Инжелевская О.В., Топильская Е.Н.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Проведен анализ параметров качества электроэнергии на горно-шахтном предприятии на соответствие требованиям ГОСТ Р 54149-2010 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Рассмотрено электрооборудование, которое может являться причиной отклонения параметров качества электроэнергии.

Ключевые слова: качество электроэнергии, помехи, отклонение напряжения, несинусоидальность напряжения, отклонение частоты.

Качество электроэнергии проявляется через качество работы электроприемников. Поэтому, если они работают неудовлетворительно, а в каждом конкретном случае анализ качества потребляемой электроэнергии дает положительные результаты, то виновато качество изготовления или эксплуатации. Если подсистемы качества электроэнергии, которые характеризуются показателями качества электроэнергии (ПКЭ), не соответствуют требованиям ГОСТ Р 54149-2010 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», то предъявляются претензии к поставщику электроэнергии. В целом ПКЭ определяют степень искажения напряжения электрической сети в результате помех, вносимых как энергоснабжающей организацией, так и потребителями.

Горно-шахтным оборудованием в той или иной степени могут создаваться помехи, отрицательно влияющие на нормальную взаимную работу. Электромагнитная совместимость различного оборудования обеспечивается при возможности его нормальной работы в существующей электромагнитной среде.

Причиной отклонений частоты в нормальных режимах работы в основном являются пусковые токи мощных электродвигателей переменного тока таких электроприёмников, как экскаваторы, погрузочные комплексы и насосы водоотливов, а также тяжелонагруженные режимы работы тяговых электродвигателей. Фактором глубоких длительных снижений частоты обычно является дефицит мощности или уменьшение пропускной способности в сети.

На возникновение колебаний напряжения влияют режимы работы технологических машин и оборудования. Это работа экскаваторов с электроприводом рабочих механизмов, пусковые режимы электродвигателей, работа электротолкателя, электросварочных аппаратов, выпрямительных устройств и преобразователей.

Высшие гармонические составляющие оказывают существенное неблагоприятное влияние на работу электроприёмников и электрических сетей, средств связи и передачи информации, автоматики, измерительных приборов, вычислительных машин и всех прочих изделий и устройств электронной техники. Источниками высших гармоник являются различные полупроводниковые выпрямители тока, силовые трансформаторы, сварочные агрегаты.

Были проанализированы показатели качества электроэнергии на одном из горношахтых предприятий, такие как отклонение напряжения, несинусоидальность напряжения, отклонение частоты (табл. 1, 2).

В качестве прибора применялся AR.5 - программируемый прибор, который измеряет, вычисляет и сохраняет в памяти основные параметры трехфазных электрических сетей.

Таблица 1

Сводные результаты замеров установившегося отклонения напряжения

Фидер	Значение	δU_{AB}	δU_{BC}	δU_{CA}	Нормально допустимое значение	Предельно допустимое значение
6-11ш	Максимальное	9,03%	9,09%	9,58%	±5%	±10%
	Минимальное	4,07%	4,15%	4,24%		
	Среднее	6,23%	6,35%	6,43%		
6-31ш	Максимальное	8,63%	8,25%	8,77%	±5%	±10%
	Минимальное	2,83%	2,91%	3,00%		
	Среднее	5,46%	5,11%	5,47%		
6-9с	Максимальное	10,71%	9,90%	10,42%	±5%	±10%
	Минимальное	5,31%	4,96%	5,05%		
	Среднее	7,40%	7,05%	7,35%		
6-29с	Максимальное	8,63%	8,25%	8,77%	±5%	±10%
	Минимальное	4,07%	3,75%	3,84%		
	Среднее	5,99%	5,65%	5,99%		
6-7к	Максимальное	11,11%	10,74%	10,82%	±5%	±10%
	Минимальное	5,31%	4,96%	4,64%		
	Среднее	8,43%	8,12%	7,94%		
6-27к	Максимальное	9,03%	9,49%	9,58%	±5%	±10%
	Минимальное	3,66%	4,15%	3,84%		
	Среднее	6,13%	6,43%	6,42%		

Из табл. 1 видно, что средние отклонения напряжений, измеренные на всех фидерах, превышают нормально допустимое значение, однако они остаются в рамках предельного допустимого значения. Требования ГОСТ, таким образом, соблюдаются.

Анализ результатов замеров фактических значений коэффициента несинусоидальности напряжения (табл. 2) позволяет оценить выполнение требований ГОСТ – ни одно из измеренных значений не превышает нормально допустимого.

Отклонения частоты питающей сети в процессе обследования выявлено не было.

Интервалы времени, на которых наблюдается повышенное и пониженное напряжение, соответствуют интервалам уменьшения или увеличения потребляемых токов.

Средние отклонения напряжений составили δU_{ab}=5,46%, δU_{bc}=5,11%, δU_{ca}=5,47%.

Средние отклонения напряжений превышают нормально допустимое значение, однако не выходят за рамки предельно-допустимого значения.

Отклонение напряжения до значений 3% может быть обусловлено «тяжелыми» пусками технологического оборудования.

Максимальные значения отклонения напряжения (8% и более) могут быть вызваны технологическими перерывами в работе.

Средние коэффициенты несинусоидальности напряжений составили K_{Uab}=1,32%, K_{Ubc} =1,31%, K_{Uca} =1,49%.

Средние коэффициенты несинусоидальности напряжений не превышают нормально допустимое значение.

Таблица 2

Сводные результаты замеров коэффициента несинусоидальности кривой напряжения

Фидер	Значение	K_{UAB}	K_{UBC}	K_{UCA}	Нормально допустимое значение	Предельно допустимое значение
6-11ш	Максимальное	1,72%	1,69%	2,00%	5%	8%
	Минимальное	1,07%	1,00%	1,14%		
	Среднее	1,30%	1,26%	1,47%		
6-31ш	Максимальное	1,91%	2,21%	2,91%	5%	8%
	Минимальное	1,05%	0,99%	1,14%		
	Среднее	1,32%	1,31%	1,49%		
6-9с	Максимальное	2,58%	2,91%	3,11%	5%	8%
	Минимальное	0,98%	0,93%	1,19%		
	Среднее	1,62%	1,61%	1,89%		
6-29с	Максимальное	1,73%	1,90%	2,28%	5%	8%
	Минимальное	1,00%	0,92%	1,20%		
	Среднее	1,31%	1,30%	1,52%		
6-7к	Максимальное	3,23%	2,38%	4,17%	5%	8%
	Минимальное	0,87%	0,72%	1,03%		
	Среднее	1,72%	1,28%	1,95%		
6-27к	Максимальное	1,97%	1,55%	1,83%	5%	8%
	Минимальное	0,94%	0,98%	1,17%		
	Среднее	1,31%	1,24%	1,46%		

Искажение синусоидальности кривой напряжения в данном случае происходит под влиянием переходных процессов, возникающих при изменении режимов работы технологического оборудования, вызванных переменной нагрузкой электроприводов.

Список литературы

1. Кузнецова Е.С., Свирская Г.С., Инжелевская О.В. Анализ показателей качества электроэнергии в городских сетях. Автоматизированный электропривод и промышленная электроника. тр. VI Всероссийской научно–практической конференции Сиб. гос.индустр. ун-т., – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2014. – С.254 – 257.

2. Кузнецова Е.С., Кипервассер М.В., Свирская Г.С., Инжелевская О.В.. Анализ параметров электропотребления подземных горнодобывающих предприятий юга Кузбасса Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей/ под ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2011. – С.261 – 264.

УДК 621.311

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕПЛОВИЗИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

[1]Топильская Е.Н., [1]Инжелевская О.В., [2]Топильский Н.М.
1 - Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия
2 - ООО «Сибирь-Эксперт»,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Дана характеристика ситуации с диагностикой оборудования низковольтных распределительных сетей электроснабжения горных предприятий с открытым способом добычи. Описаны существующие способы контроля неисправностей и аварий, предложен способ тепловизионного контроля, приведены сравнительные экономические характеристики двух способов контроля.

Ключевые слова: диагностика оборудования, низковольтное электрооборудование, тепловизионный контроль, экономический эффект.

Электроснабжение приемников с уровнями напряжения ниже 1000 В широко используются при ведении горных работ открытым способом.

Электрические установки до 1000 В, ввиду невысокого питающего напряжения, характеризуются высокими токами нагрузки, которые в свою очередь вызывают нагрев токоведущих частей. По этой причине электрические установки до 1000 В особенно подвержены термическим разрушениям контактов, шин, контактов коммутационных аппаратов и т.д. От сетей низкого напряжения питается большинство приёмников в промышленности и быту, поэтому в сетях низкого напряжения присутствует большое количество аппаратов, таких как разъединители, автоматические выключатели, электромагнитные пускатели и коммутационные реле.

Коммутационные аппараты до 1000 В характеризуются многократно повторяющими циклами включения/выключения, что приводит к механическому износу главных контактов, элементов привода. Последнее может вызвать недостаточный прижим и, как следствие, увеличение сопротивления токоведущих цепей, а значит нагрев точек контакта.

Перечисленные выше обстоятельства обуславливают наличие большого количества аварий, инцидентов и отказов коммутационных аппаратов в сетях низкого напряжения. Следствием этого являются значительные экономические затраты на контроль состояния аппаратуры, а также последующие ее текущие и капитальные ремонты и замены. В этой связи своевременное выявление предпосылок к возникновению аварий и неисправностей в коммутационной аппаратуре низковольтных сетей является актуальной задачей [1].

Ранее для выявления подобного рода неисправностей применялись контактные индикаторные парафиновые бруски, с различной температурой плавления, которые укреплялись на оперативной штанге. Способ обладал серьезными недостатками: необходимость выполнения работ «на токоведущих частях»; опасность проведения работ; наличие зон, закрытых для контроля; возможность возгорания парафиновой термосвечи. В связи с изложенным, поиск и использование альтернативных, в том числе косвенных методов контроля состояния оборудования, является актуальной задачей [2].

В настоящее время существуют современные методы бесконтактного неразрушающего контроля. Наиболее приемлемым методом, отвечающим большинству предъявляемых требований (оперативность, безопасность, отсутствие потребности в бестоковых паузах при обследовании, отсутствие ограничений по погодным и температурным условиям, не требующий от обслуживающего персонала специальной подготовки и определенных

навыков), является тепловизионный контроль с последующей обработкой и анализом результатов, представленных на термограммах.

Нагрев контактных соединений, шинопроводов, клеммных зажимов электрических аппаратов, является первичным признаком неисправности в сетях 0,4-1000 В. Он указывает на повышенное сопротивление контактной группы. Результатом этого является нарушение контакта, разрыв токовой цепи и выход из строя коммутационного оборудования, аварийные простои, возгорания, и другие инциденты.

Своевременное выявление участков локального нагрева в системах электроснабжения 0,4-1000 В позволит оперативно диагностировать возникновения описанных выше явлений, возможные токовые перегрузки, а также определять необходимые интервалы для техобслуживания и ремонта.

Для оборудования, которое работает в тяжелых режимах (частые включения и отключения, динамическое и термическое воздействие пусковых токов), а аварийная остановка повлечет за собой гибель людей и разрушения оборудования, целесообразно использовать метод непрерывного тепловизионного контроля, который предусматривает установку нескольких камер тепловизионного контроля на участках, наиболее подверженным такого рода повреждениям.

На рис. 1, 2 приведены фрагменты тепловизионной съемки оборудования низковольтных распределительных шкафов питания карьерной насосной станции. На фотографиях видны участки с повышенными переходными сопротивлениями, характеризующиеся значительным выделением тепла и повышенной температурой, что фиксирует объектив тепловизора.

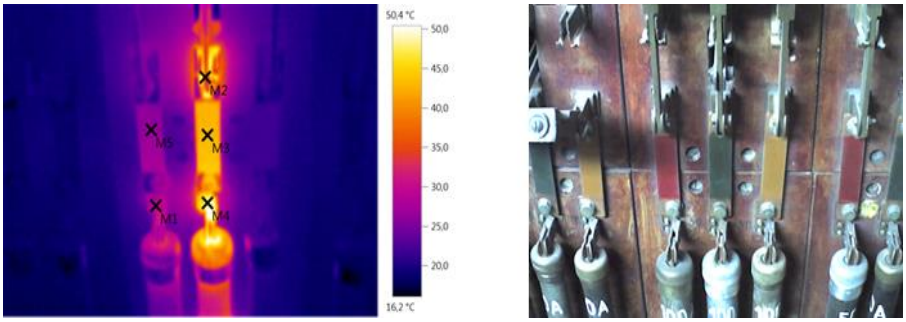


Рис. 1. Тепловизионная съемка блока предохранителей

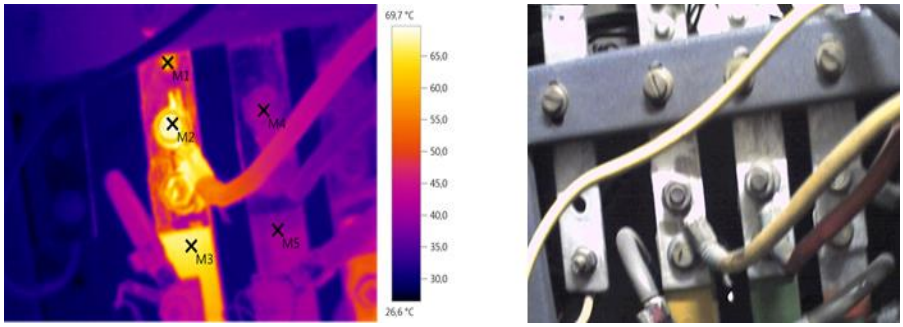


Рис. 2. Тепловизионная съемка участка шинопровода с присоединением отходящих кабельных линий

Для определения возможностей использования подобного метода диагностики в реальных сетях горнодобывающих предприятий был произведен сравнительный экономический анализ контроля состояния оборудования традиционными способами и при помощи тепловизионного контроля.

На угледобывающем разрезе «Степановский» был проведён эксперимент по диагностике карьерного электрооборудования (КТПН, ЯКНО, ЯКУ).

Обычно при проведении сезонных наладочных работ выполняются следующие стандартные операции:

– замер переходного сопротивления главных полюсов воздушных выключателей;

– замер переходного сопротивления главных контактов разъединителей;

– проверка качества контактных соединений шинопроводов и присоединения кабелей;

– визуальный контроль оборудования, замер температуры силовых трансформаторов.

Диагностика была выполнена стандартным методом и методом тепловизионного контроля. Были рассчитаны сметные стоимости выполнения работ каждым методом, согласно сборнику ТЕРп - 2001 (Территориальные Единичные Расценки на пусконаладочные работы) [3]. В табл. 1 приведен сметный расчет стоимости проведения работ по проверке показателей оборудования традиционным способом, а в табл. 2 методом тепловизионного контроля.

Сравнительный анализ данных табл. 1 и 2 показывает, что экономия при использовании метода тепловизионного контроля составляет около 40-60% , а в конкретном случае экономия составит 20625 руб.

Таблица 1

Смета на сезонные пусконаладочные работы по электрооборудованию (ПКТП 6/04 кВ)

Наименование	Основание	Ед. измер.	Кол-во	Прямые затраты, руб.	Общая стоимость, руб.	Общие затраты труда, чел*ч
Трансформатор двухобмоточный напряжением до 11 кВ мощностью до 0,32 МВА.	01-02-002-01	шт.	1	108,75	109	7
Разъединитель трёхполюсный напряжением до 20 кВ	01-03-005-01	шт.	2	88,1	176	6
Выключатель трехполюсный с электромагнитным, тепловым или комбинированным расцепителем до 200 А	01-03-002-05	шт.	5	33,79	169	3
Выключатель трехполюсный с электромагнитным, тепловым или комбинированным расцепителем до 600 А	01-03-002-06	шт.	1	45,05	45	4
Измерение переходных сопротивлений постоянному току контактов шин распределительных устройств напряжением до 10 кВ	01-11-021-01		45	15,37	692	1
Итого в ценах 2001					1191	
Индекс общей стоимости СМР			21,61		25728,87	
Итого в ценах 2015 без учета НДС					25728,87	
Итого в ценах 2015 с учётом НДС (%)			18		30360,06	

При оценке общих затрат на выполнение работ традиционным способом, следует иметь ввиду, что для обеспечения работ требуется привлечение персонала предприятия-заказчика и отключение обследуемого оборудования с неизбежной остановкой технологического цикла. Указанные обстоятельства увеличивают общие расходы за счет дополни-

тельных затрат и потерь производства. Также надо отметить, что за время перерыва в электроснабжении возможны аварии и инциденты из-за остановки водоотливных установок, из-за чего может произойти подтопление забоя, которое потребует эвакуацию карьерной техники.

Таблица 2

Смета на тепловизионное обследование (эксплуатационные испытания) электрооборудования Ресурс (КТП, ЯКУ)

Наименование	Основание	Ед. измер.	Кол-во	Прямые затраты, руб.	Общая стоимость, руб.	Общие затраты труда, чел*ч
Обследование трансформатора до 1000 кВА тепловизионное	прейскурант	шт.	1	1650	1650,00	7
Обследование шинопровода со стороны высшего напряжения тепловизионное.	прейскурант	шт.	1	2200	2200,00	3
Обследование шинопровода и аппаратов со стороны низшего напряжения тепловизионное.	прейскурант	шт.	1	2100	2100,00	3
Обследование электрических аппаратов напряжением выше 1000 В., тепловизионное.	прейскурант	шт.	2	1150	2300,00	6
Итого без учёта НДС					8250,00	
Итого с учётом НДС (18%)			18		9735,00	

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование метода тепловизионного контроля электрооборудования в горнодобывающей промышленности на предприятиях с добычей полезных ископаемых открытым способом, имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами:

– снижение затрат и потерь производства из-за перерывов в электроснабжении;

– уменьшение рисков возникновения аварийных ситуаций (перемерзание трубопроводов водоотливных установок, вынужденный простой углепогрузочных экскаваторов и транспортировочных механизмов);

– отсутствие рисков для персонала, выполняющего работы вдали от токоведущих частей.

Список литературы

1 Топильская Е.Н., Инжелевская О.В., Топильский Н.М., Диагностика состояния высоковольтных выключателей при помощи тепловизионного контроля. Автоматизированный электропривод и промышленная электроника : труды VI Всероссийской научно-практической конференции Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк, 2014 – С. 319-323

2 Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Аниканов Д.С. Один из подходов к распознаванию аварийных ситуаций на шахтных подъемных установках. Вестник СибГИУ : научный журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк, 2013, № 3 – С.38-42.

3 Сметные нормативы РФ НО ТЕРп-2001. Утвержден постановлением Коллегии Администрации Кемеровской области от 22 октября 2012 г. N 427.

УДК 621.3

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ГОРНО-ШАХТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

к.т.н. Кузнецова Е.С., к.пед.н. Балицкая Н.В., Топильская Е.Н.
Сибирский Государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Проведен анализ реактивной мощности на горно-шахтном предприятии, рассмотрены вопросы оптимизации компенсации реактивной мощности и дана оценка снижения потерь в линиях и трансформаторах.

Ключевые слова: Реактивная мощность, коэффициент мощности электроэнергии, потери электроэнергии, компенсация реактивной мощности.

На горно-шахтных предприятиях применяются разнообразное электрооборудование, характеризующееся различными режимами электропотребления. Основными потребителями электроэнергии является специализированное шахтовое оборудование, очистной и проходческие комбайны, конвейеры, перегружатели, насосные и вентиляторные установки, система освещения.

Реактивная мощность распределяется между отдельными видами электроприемников: 65 % приходится на асинхронные и синхронные двигатели, 20 – 25 % на трансформаторы и около 10 % на воздушные электрические сети и другие приемники.

Питание потребителей осуществляется по 10 фидерам:

фидер 6 – 6 п и 6 – 22п – горсеть (поселок, частный сектор);

фидер 6 – 10а и 6 – 30а – автобаза (свет, отопление);

фидер 6 –7к и 6 – 27к - шахта, поверхность (бытовые помещения);

фидер 6 – 9с и 6 – 29с – шахта, поверхность (склады, бытовые помещения);

фидер 6 – 11ш и 6 – 31ш – шахта, подземный потребитель

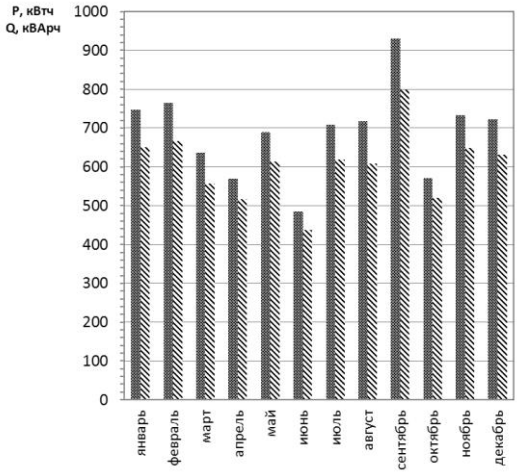
В табл. 1 приведены значения вариации для активной и реактивной мощности. Графики нагрузок показаны на рис. 1.

Таблица 1

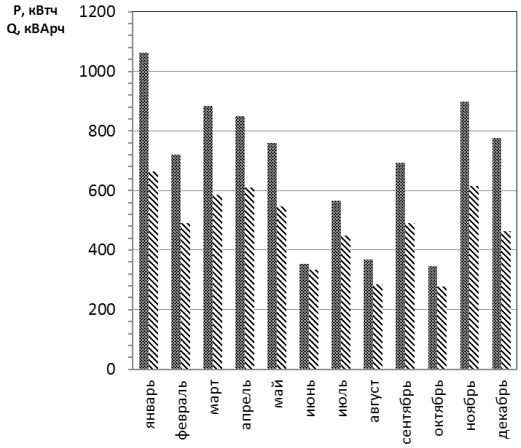
Значения вариации для активной и реактивной мощности

Фидер	Вариация активной мощности, %	Вариация реактивной мощности, %
6-6п	30,9	4.2
6-7к	16,6	15,0
6-9с	34,0	26,9
6-10а	24,2	15,5
6-11ш	13,6	55,4
6-22п	26,3	23,5
6-27к	13,8	13,6
6-29с	32,5	21,9
6-31ш	22,3	27,9
6-30а	17,0	9,2

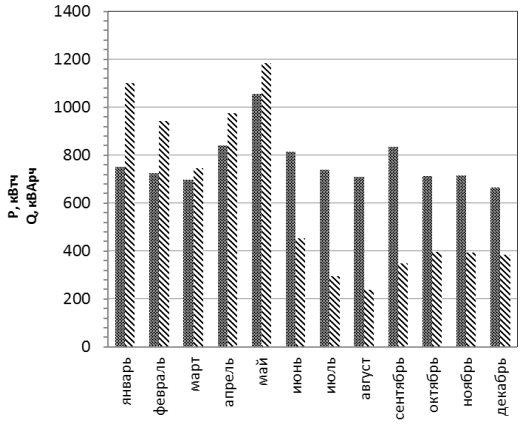
а



б



в



г

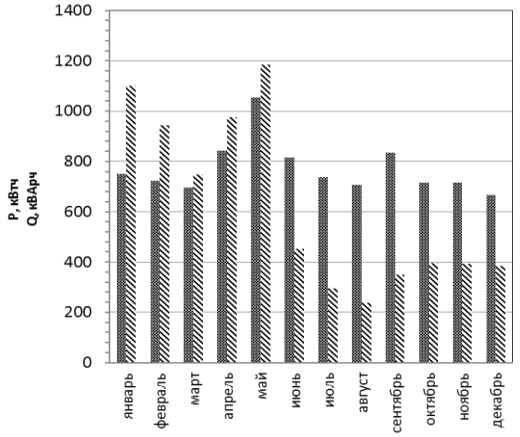


Рис. 1. График активной и реактивной мощностей: а - фидера 6-7к; б - фидера 6-9с; в - фидера 6-11ш, г - фидера 6-27к

Основную роль в балансе реактивной мощности асинхронных двигателей и трансформаторов играет реактивная составляющая мощности холостого хода, которая зависит от параметров магнитной цепи, мощности и конструкции машины, трансформатора.

Повышенное потребление реактивной мощности приводит к:

- возрастанию тока, протекающего через сеть;
- снижению пропускной способности сетей;
- необходимости увеличения сечения линий;
- увеличению потерь активной мощности при передачи реактивной мощности;
- увеличению потерь напряжения;
- ложным срабатывания релейной защиты.

Для компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения применяются компенсирующие установки (КУ). Однако, как показало инструментальное обследование, КУ работают неэффективно – низкие значения коэффициента мощности наблюдались на всех фидерах, кроме 6-7к: среднее значение cos φ составило 0,81. Среднее значение cos φ , измеренное на фидере 6-27к, составило -0,45. Отрицательное значение cos φ , зафиксированное анализатором, показывает, что имеет место перекомпенсация реактивной мощности, вследствие неправильной настройки режима работы конденсаторной установки.

Для снижения переменных (нагрузочных) потерь в линиях и трансформаторах и исключения прочих негативных последствий, вызванных повышенным потреблением реактивной мощности, предлагается организовать ее компенсацию. Существуют следующие виды компенсации:

индивидуальная – осуществляется с помощью конденсаторов, подключаемых к зажимам электроприемника. При индивидуальной компенсации вся цепь от генератора до приемника разгружается от реактивного тока данного электроприемника. Недостаток этого метода заключается в том, что конденсаторы при этом используются только в период работы того электроприемника, к зажимам которого они подключены. В связи с этим индивидуальная компенсация находит применение для электроприемников большой мощности, работающих в длительном режиме;

групповая – при которой компенсирующие устройство присоединяется к групповым сборкам (силовым шкафам). Групповая компенсация применяется там, где среда не агрессивна и не опасна с точки зрения взрыва или пожара, в противном случае осуществляется централизованная компенсация;

централизованная – подключение конденсаторной установки на шины 0,38 или 6-10 кВ РП или ГПП. При централизованной компенсации компенсирующие устройство используется наиболее полно, однако при этом от реактивных токов не разгружаются все элементы распределительной сети, питающейся от подстанции.

На подстанции применяются компенсационные установки. Анализ показывает, что они работают неэффективно – имеет место недокомпенсация, а некоторых фидерах перекомпенсация реактивной мощности, вследствие неправильной настройки режима работы конденсаторной установки

Для оценки возможной экономии электроэнергии был произведен расчет потерь в линиях и трансформаторах при коэффициенте мощности, равным 0,94. Результаты расчетов приведены в табл. 2 и 3.

По результатам расчетов, оптимизация компенсации реактивной мощности позволит снизить потери в линиях с 425995,40 кВт·ч до 84234,76 кВт·ч в год, т.е. потенциальная годовая экономия составит 341760,64 кВт·ч.

Потери электроэнергии в силовых трансформаторах могут быть снижены с 278609,51 кВт·ч до 127987,09 кВт·ч в год, что означает экономию 150622,42 кВт·ч.

Таблица 2

Возможное снижение потерь в линиях при компенсации реактивной мощности

месяц		январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	итого
6-11ш	без компенсации	4280,43	3696,9	3911,03	4772,29	6561,46	4585,49	4194,31	3988,35	4347,99	4028,06	3899,67	3700,64	47686,21
	с компенсацией	1360,77	1175,2	1243,33	1517,13	2085,92	1457,75	1333,39	1267,91	1382,24	1280,54	1239,72	1176,45	15159,64
	разница в кВт·ч	2919,66	2521,6	2667,70	3255,16	4475,55	3127,75	2860,92	2720,44	2965,74	2747,53	2659,95	2524,19	32526,57
6-31ш	без компенсации	19615,4	16557,53	25147,9	45168,8	23965,7	22130,1	20799,4	23537,4	26233,61	24506,7	21497,3	15025,6	264570,3
	с компенсацией	2417,52	2040,6	3099,37	5566,88	2953,67	2727,44	2563,44	2900,89	3233,18	3020,35	2649,46	1851,85	32607,19
	разница в кВт·ч	17197,9	14516,8	22048,5	39602,0	21012,0	19402,6	18235,9	20636,5	23000,43	21486,3	18847,8	13173,8	231963,1
6-9с	без компенсации	4355,75	2232,2	3316,82	3030,65	2657,99	922,74	1771,14	577,29	2258,48	225,04	2733,93	2746,50	22472,78
	с компенсацией	1183,59	606,56	901,28	823,52	722,25	250,73	481,27	156,87	613,70	61,15	742,89	746,31	6106,51
	разница в кВт·ч	3172,17	1625,6	2415,54	2207,14	1935,73	672,00	1289,87	420,42	1644,79	163,89	1991,04	2000,20	16366,27
6-29с	без компенсации	2171,17	3280,5	2192,01	1575,64	937,62	2270,83	1224,83	2527,27	1243,15	3643,44	2637,70	3981,63	25514,67
	с компенсацией	475,71	718,78	480,28	345,23	205,44	497,55	268,36	553,74	272,38	798,29	577,93	872,39	5590,36
	разница в кВт·ч	1695,46	2561,7	1711,73	1230,41	732,18	1773,29	956,47	1973,54	970,77	2845,15	2059,77	3109,24	19924,32
6-7к	существующий режим работы	5140,37	4811,3	4067,31	3354,04	4573,05	2686,33	4762,34	4853,74	6931,77	3487,74	4839,56	4897,47	49264,71
	после наладки	1178,05	1102,6	932,13	768,67	1048,03	615,64	1091,41	1112,36	1588,60	799,31	1109,11	1122,38	11290,29
	разница в кВт·ч	3962,32	3708,7	3135,18	2585,38	3525,02	2070,69	3670,93	3741,38	5343,17	2688,44	3730,45	3775,08	37974,42
6-27к	существующий режим работы	1527,81	1271,7	1777,58	1802,69	1541,47	2001,63	1491,10	1368,86	893,33	1785,90	1311,73	1240,64	16486,65
	после наладки	1249,26	1039,8	1453,49	1474,02	1260,42	1636,69	1219,24	1119,28	730,46	1460,29	1072,57	1014,45	13480,77
	разница в кВт·ч	278,55	231,87	324,09	328,67	281,04	364,94	271,86	249,57	162,87	325,61	239,16	226,20	3005,88

Таблица 3

Возможное снижение потерь в трансформаторах при компенсации реактивной мощности

Подстанция подземных потребителей, Т-1	месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	итого
	без компенсации	6409,3	5684,0	6182,7	6612,8	8010,7	6488,1	6355,5	6229,2	6333,3	6253,3	6052,5	6058,5	70260,9
	с компенсацией	5285,4	4740,5	5213,3	5245,3	5794,5	5205,7	5268,3	5228,1	5156,4	5235,8	5067,2	5173,9	57329,41
	разница в кВт·ч	1123,9	943,48	969,33	1367,4	2216,2	1282,4	1087,2	1001,0	1176,8	1017,5	985,33	884,64	12931,57
Подстанция подземных потребителей, Т-2	без компенсации	14983,1	12630,8	19556,9	38786,1	18546,6	17054,9	15927,0	18184,7	20580,9	19006,9	16529,9	11543,4	208348,5
	с компенсацией	6021,3	5327,4	6585,0	8820,3	6460,5	6142,0	6137,6	6415,9	6576,5	6517,2	6077,3	5597,4	70657,68
	разница в кВт·ч	8961,82	7303,3	12971,9	29965,8	12086,0	10912,9	9789,35	11768,7	14004,3	12489,7	10452,6	5945,99	137690,85

Список литературы

1. Кузнецова Е.С., Свирская Г.С., Дивин Г. В., Карачевцев И.О.. Анализ реактивной мощности городских подстанций. Автоматизированный электропривод и промышленная электроника. тр. VI Всероссийской научно–практической конференции Сиб. гос.индустр. ун-т., – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2014. – С.258 – 260.

2. Кузнецова Е.С., Свирская Г.С., Дивин Г. В., Карачевцев И.О. Анализ компенсации реактивной мощности на опорных подстанциях металлургического комбината.. Автоматизированный электропривод и промышленная электроника. тр. V Всероссийской научно–практической конференции Сиб. гос.индустр. ун-т., – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2012. – С.243 – 245.

УДК 622.271

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТВАЛЬНЫХ РАБОТ В ОПАСНЫХ ЗОНАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ НА ДИСТАНЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ

Щепелина Н.В., Пилюгин Д.Ю.
ООО «СПб-Гипрошахт»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассмотрены особенности проектирования отвальных работ в опасных зонах с применением оборудования на дистанционном управлении.

Ключевые слова: отвальные работы, опасные зоны, дистанционное управление, проектная документация.

В настоящее время добыча полезных ископаемых, а также складирование вскрышных пород ведется во все более сложных горно-геологических условиях. В разработку всё чаще вовлекаются месторождения, расположенные в неблагоприятных для отработки классическими методами топографических и горно-геологических условиях. При проектировании рудников и карьеров в таких условиях возникает необходимость размещения отвалов пустых пород в балках, оврагах, ранее выработанных пространствах, зонах провалов от ведения подземных горных работ.

Соблюдение рекомендуемых параметров устойчивых отвалов в таких случаях не всегда предоставляется возможным. Для организации отвалов и размещения необходимых объёмов вскрыши нередко приходится превышать общую высоту отвалов, а также высоту ярусов, обоснованную расчетами по условиям устойчивости, что естественно сказывается на безопасности ведения работ на поверхности отвальных ярусов.

Одним из возможных путей решения выше обозначенной проблемы может стать внедрение безлюдной технологии на отвалообразовании, которая бы обеспечила минимум присутствия людей либо полное их отсутствие непосредственно на рабочей площадке отвала.

Данная технология была предложена к применению при выполнении институтом ООО «СПб-Гипрошахт» проектной документации АО «Евразруда» «Вскрытие и отработка запасов Шерегешевского месторождения», расположенного в Таштагольском районе Кемеровской области.

Эксплуатация Шерегешевского железорудного месторождения начата в 1952 году открытыми горными работами, а после 1960 года – подземным способом. Для размещения пустых пород, извлекаемых при проходке горных выработок, выполненным проектом предусматривается организация складирования пород с проходческих работ, а также хвостов ДОФ в выработанное открытым способом пространство участка «Главный». В настоящее время указанный участок отрабатывается подземным способом. В результате отработки участка образовалась воронка обрушения. По состоянию на 01.01.2014 г. объем воронки составил 30 млн. м³.

Для засыпки выработанного пространства участка «Главный» хвостами ДОФ и породой с подготовительных работ подземного рудника, принята схема бульдозерного отвалообразования с применением автомобильного транспорта на доставке отвальных пород. Для обеспечения безопасности и исключения нахождения машиниста бульдозера в зоне возможного обрушения бульдозер CAT D10T предусмотрено оснастить дистанционным управлением, разрабатываемым австралийской компанией Remote Control Technologies Pty Ltd либо другой аналогичной системой дистанционного управления.

Площадка для организации работы по засыпке выработанного пространства делится на две зоны: зона разгрузки автосамосвалов и зона планировочных работ. Зона разгрузки автотранспорта организуется за границей призмы возможного обрушения.

Работа бульдозера в зоне возможного обрушения осуществляется с помощью дистанционного управления.

Перед производством работ по засыпке выработанного пространства необходимо проведение подготовительных работ:

1. Обозначение маркшейдерской службой предприятия на местности призмы возможного обрушения предупредительными знаками и установка системы лазерных барьеров.

2. Определение размеров зон работы автотранспорта и бульдозера, обозначение указанных зон предупредительными знаками.

3. Устройство рабочей площадки:

– доставка материала для отсыпки рабочей площадки автосамосвалами Scania P440;

– разгрузка автосамосвалов в обозначенной зоне;

– планировка разгрузочной площадки для автосамосвалов бульдозером с приданием уклона 3° от бровки откоса выработанного пространства;

планировка рабочей зоны бульдозера и устройство предохранительного вала.

После проведения подготовительных работ производятся работы по засыпке, которые начинаются с предварительно спланированной площадки на северном борту и ведутся в южном направлении.

Границей работы грузового автотранспорта является граница возможной призмы обрушения, обозначенная маркшейдерской службой предприятия. Граница зоны разгрузки автотранспорта определяется размером возможного проседания поверхности от верхней бровки выработанного пространства и должна располагаться на расстоянии не менее 10 м от призмы возможного обрушения. Автомобили и другие транспортные средства должны разгружаться на отвале в местах, предусмотренных паспортом. На отвалах должны устанавливаться схемы движения автомобилей. Зона разгрузки автотранспорта обозначается на местности предупредительными знаками и предохранительным валом.

Комплект дистанционного управления, поставляемый компанией Remote Control Technologies, оптимизирован для фактических потребностей заказчика. Система дистанционного управления поставляется вместе с комплектом оборудования для дистанционного управления бульдозером, электрическим интерфейсом и системой связи, адаптированной для условий эксплуатации.

Зона возможного обрушения в рабочей зоне бульдозера обозначается вдоль фронта разгрузки предупредительными знаками на расстоянии не более 50 м друг от друга. При приближении бульдозера к опасной зоне оператор должен остановить движение бульдозера, покинуть кабину и продолжать работы по сталкиванию породы при помощи беспроводной системы связи, располагаясь при этом в специальной мобильной кабине – станции дистанционного управления, расположенной вне зоны возможного обрушения.

Проектом предусматривается возможность установки лазерной системы ограждения опасной зоны и применение бульдозера CAT D10T с установкой системы дистанционного управления в пределах прямой видимости, что позволяет работать оборудованию в опасной зоне. При приближении бульдозера к опасной зоне возможного сдвижения и пересечении лазерных лучей барьеров, установленных на ее границе, машина автоматически блокируется от ручного управления непосредственно из кабины и останавливается. Кабина бульдозера оснащается датчиками движения, исключающими нахождение в кабине после переключения системы на дистанционное управление.

Для визуализации производимых работ бульдозер оснащается несколькими видеокамерами, передающими изображение на мониторы, расположенные в станции дистанционного управления. На пульте оператора также располагаются дублирующие информационные табло, принимающие в цифровом виде данные с приборных панелей

бульдозера. Это означает, что оператор в режиме on-line следит за оборотами и температурой двигателей, давлением масла и другими параметрами.

Таким образом, при вероятном оползании или обрушении, обеспечивается безопасность машиниста бульдозера, осуществляющего работы на поверхности отвала.

Вышеописанные решения в выполненной проектной документации при прохождении государственной экспертизы не вызвали дополнительных вопросов и замечаний. Соответственно, данную схему отвалообразования с применением оборудования на дистанционном управлении планируется применять при разработке других проектов, в которых в полной мере соблюдение норм и правил безопасности не представляется возможным по различным причинам.

Следует отметить, что в настоящий момент в ведущих горнодобывающих предприятиях наметилась устойчивая тенденция создания и внедрения в рабочих зонах карьеров и отвалов дистанционно-управляемой техники. Внедрение таких систем позволяет существенно повысить производительность горно-транспортного комплекса, сократить расходы на техобслуживание, уменьшить энергозатраты, а самое главное применять такие системы, где необходимо обеспечить безопасность – одно из главных требований при проведении горных работ.

УДК 661.715.2:543.27

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЕГО ПРОМЫШЛЕННОГО И КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ

[1]к.х.н Журавлева Н.В., [1]Потокина Р.Р., [2]член-корр. РАН, д.х.н. Исмагилов З.Р.
1 - ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр», г. Новокузнецк, Россия
2 – Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, г. Кемерово, Россия

Аннотация. Изучен качественный и количественный состав газа угольных пластов Талдинского месторождения методом, основанным на сочетании газожидкостной и газоадсорбционной хроматографии. Выполнен расчет физико-химических параметров газа угольных пластов с целью оценки применимости его для промышленного и коммунально-бытового назначения.

Ключевые слова: метан угольных пластов, альтернативные источники топлива, физико-химические свойства природного газа, хроматография

Введение

Поиск и внедрение альтернативных видов топлива осуществляется как во всем мире, так и в России. Одним из таких источников является метан угольных пластов (МУП). Общие ресурсы МУП в нашей стране оцениваются в 50-83 трлн. м^3, что сопоставимо с запасами природного газа (доказанные геологические запасы природного газа составляют 48.8 трлн. м^3) [1]. В настоящее время насчитывается несколько сотен проектов по извлечению и утилизации угольного метана, которые находятся на стадии реализации или разработки. Наиболее распространенными направлениями использования угольного метана являются применение его качестве топлива для теплоэнергетических установок, автомоторного топлива, сырья для химической промышленности [2-10]. Рост экологических требований к предприятиям стимулирует к использованию ресурсосберегающих видов топлива. МУП является наиболее безопасным источником топлива для окружающей среды по сравнению с углем, нефтью и продуктами ее переработки. Кроме того, угольный метан обладает высокой теплотворной способностью, что делает его высокоэффективным энергоресурсом.

Компания ООО "Газпром добыча Кузнецк" на Талдинском угольном месторождении (Кузнецкий угольный бассейн) запустила первый в России промысел по добыче угольного метана. Стабильный уровень добычи метана угольных пластов в Кузбассе планируется в объеме 4 млрд. м^3 в год. Согласно разрабатываемой Программе газификации Кемеровской области, к 2025 году Кузбасс должен не только полностью сам удовлетворять свои потребности в природном газе, но и существенно расширить рынок сбыта газа (до 6.84 млрд. м^3) за счет газификации населения области, использования метана в качестве автомобильного топлива и для электрогенерации.

ООО "Газпром добыча Кузнецк" ввела в эксплуатацию в Кузбассе в 2011 г. две газопоршневые электростанции (ГПЭС), работающие на метане угольных пластов на Талдинском месторождении, а в 2014 г. их работало уже семь, каждая производительностью от 60 КВТ до 1,35 МВт [11]. С начала эксплуатации ГЭПС выработано 25699 тыс. КВт электроэнергии.

Угольная компания ОАО «СУЭК-Кузбасс» запустила на шахте имени С.М. Кирова котельную, позволяющую обеспечивать предприятие теплом и электроэнергией за счет утилизации метана. ОАО «Теплоэнерго» с 2005 года занимается модернизацией котельных, заменяя старые угольные котельные на современные газовые блочно-модульные установки [12]. В Кузбассе имеются все предпосылки для использования метана угольных пластов в качестве компримированного моторного топлива и для производства электро-

энергии. Добыча и подготовка МУП для использования в качестве энергоносителя является сложной технологической задачей. Угольный метан должен соответствовать определенным параметрам качества, определение которых предусматривает использование широкого перечня физико-химических методов исследований.

В данной работе выполнено исследование качественного, количественного состава и физико-химических свойств газа угольных пластов Талдинского метаноугольного месторождения с целью использования его в качестве газа промышленного и коммунально-бытового назначения.

Экспериментальная часть

Для отбора проб газа из линий высокого давления использовались двугорлые пробоотборники БДП-12-2-9.8 (ООО "НПО "Поиск", г. Москва) с максимальным рабочим давлением до 150 кгс/см^2. При определении смолы, пыли, сероводорода и меркаптановой серы для отбора проб газа использовали газовый счетчик барабанного типа ГСБ-400.

Определение компонентного состава природных горючих газов. Исследование компонентного состава газа, извлеченного из скважин Талдинского месторождения и Нарыкско-Осташкинской площади проведено методом, основанным на сочетании газожидкостной и газоадсорбционной хроматографии с использованием детекторов по теплопроводности (ДТП) и пламенно-ионизационных детекторов (ПИД). Углеводороды С1-С6 разделяли методом газожидкостной хроматографии, а неуглеводородные компоненты (водород, кислород, азот, оксид углерода и диоксид углерода) – методом газоадсорбционной хроматографии [13].

Определение углеводородов в природных газах проводилось на хроматографе "Хроматэк-Кристалл-5000.2" (ЗАО СКБ "Хроматэк", г. Йошкар-Ола) с ПИД. Разделение смеси осуществлялось на капиллярной колонке HP-PLOT/Q (30 м х 0.53 мм, толщина привитого слоя полистирол-дивинилбензола – 40.0 мкм).

Определение неуглеводородных компонентов проводилось на хроматографе "Хроматэк-Кристалл-5000.2" (ЗАО СКБ "Хроматэк", г. Йошкар-Ола) с ДТП, метанатором и ПИД. В процессе хроматографирования пробы газа на набивных колонках Carbosieve SII (3 м х 2 мм, 80/100 меш) и Hayesep Q (1.5 м х 2 мм, 80/100 меш) разделялись на водород, оксид углерода, метан и диоксид углерода. Далее водород, метан и диоксид углерода детектировались на первом ДТП. Оксид углерода и диоксид углерода определялись на ПИД после каталитического восстановления этих компонентов до метана в метанаторе. На колонках СаА (2 м х 3 мм, 60/80 меш) и Carbosieve SII (3 м х 2 мм, 80/100 меш) осуществляется разделение азота и кислорода с последующим количественным определением на втором ДТП.

Обработка результатов анализа проводилась с помощью программного обеспечения "Хроматэк Аналитик 2.5"

Определение содержания смолы и пыли. Сущность метода заключается в осаждении смолы и пыли из газа на фильтре и установлении количества осажденных веществ взвешиванием [14]. Для определения содержания смолы и пыли применяли счетчик газовый барабанный типа ГСБ-400, трубки хлоркальциевые типа ТХ-U-2 и ТХ-U-3, кальций хлористый гранулированный, вату гигроскопическую, весы аналитические.

Наличие смолы и пыли определяли качественно, для этого пропускали через ватный фильтр 500 дм^3 газа со скоростью 75-80 дм^3/ч. При отсутствии налета на фильтре отмечали, что смола и пыль в газе отсутствуют. При обнаружении налета на фильтре проводили количественное определение.

Определение содержания сероводорода и меркаптановой серы. Определение проводили методом фотоколориметрии по ГОСТ 22387.2-97 [15].

Сероводород из испытуемого газа поглощали подкисленным раствором уксуснокислого цинка (или уксуснокислого кадмия при отсутствии в газах меркаптанов), а затем фотоколориметрически определяли метиленовый синий, образующийся в кислой среде

при взаимодействии сульфида цинка с N,N-диметил-*n*-фенилендиамином в присутствии хлорного железа.

Меркаптаны поглощали щелочным раствором хлористого кадмия из предварительно очищенного от сероводорода испытуемого газа, затем фотокалориметрически определяли метиленовый красный, образующийся при взаимодействии меркаптида кадмия с N,N-диметил-*n*-фенилендиамином в присутствии хлорного железа.

Определение степени одоризации горючих газов. У природного газа запах отсутствует. Для того чтобы определить утечку, газ одоризируют (то есть придают ему специфический запах). Проведение одоризации осуществляется путем использования этилмеркаптана. Норма одоризации 16 г на 1000 м^3 газа. Осуществляют одоризацию на газораспределительных сетях. При попадании в воздух 1 % природного газа начинает ощущаться его запах.

Интенсивность запаха горючего газа определяли в соответствии с ГОСТ 22387.5-77 [16] приборным методом с использованием прибора для приготовления газовоздушных смесей ОО-4 (РУП "Белгазтехника", г. Минск).

Расчет физических параметров природного газа. Вычисление высшей теплоты сгорания, низшей теплоты сгорания, абсолютной плотности, относительной плотности и числа Воббе осуществляли по известному компонентному составу газа при стандартных условиях измерений по ГОСТ 31369-2008 [17] с помощью программы «Природный газ. Версия 2.0» (ЗАО СКБ "Хроматэк", г. Йошкар-Ола).

Результаты и обсуждения

Для изучения возможности использования МУП Талдинского месторождения в качестве газа промышленного и коммунального назначения проведено комплексное исследование его физико-химических параметров (табл. 1).

Содержание метана в газе Талдинского угольного месторождения находится на уровне 96,36-98,26%, что не требует дополнительной стабилизации газа по содержанию метана (безопасное содержание не менее 25 %). Содержание тяжелых углеводородов метанового ряда варьируется в широком диапазоне концентраций (этан от 0.006% до 0,861%, пропан от <0,001 до 0,157%), содержание нормальных и изомерных бутанов, пентанов, гексанов в газе не значительно или не проявляется.

Содержание кислорода и водорода в угольном газе находится за пределами детектирования газохроматографического метода.

С целью оценки применимости МУП в качестве газа промышленного и коммунального назначения были рассчитаны необходимые физико-химические показатели: низшая объемная теплота сгорания, область значений числа Воббе. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Показатель низшая объемная теплота сгорания является важным показателем, определяющим количество теплоты, которое может выделиться при полном сгорании в воздухе 1 м^3 газа (при постоянном давлении и одинаковой температуре исходных газов и продуктов сгорания) при этом все продукты сгорания находятся в газообразном состоянии. Значения низшей теплоты сгорания, рассчитанные на основе значений объемной доли компонентов газа Талдинского угольного месторождения, соответствуют требованиям предъявляемые к газу промышленного и коммунально-бытового назначения, что характерно для газа с высоким содержанием метана.

Результаты исследования показывают, что газ, извлеченный из угольных пластов, не содержит механических включений. Содержание механических примесей в горючем газе необходимо контролировать, поскольку взвешенные частицы могут засорять газовую арматуру и трубопроводы.

Содержание сероводорода в газе угольных пластов Талдинского месторождения незначительно и находится в диапазоне от 0,0001 до 0,0007 мг/м^3, что значительно ниже допустимого значения по ГОСТ 5542-87 и ГОСТ 27577-00 (0,02 мг/м^3). Меркаптановая

сера в МУП Талдинского месторождения не обнаруживается. Определение концентрации серосодержащих соединений необходимо, поскольку совместно с водяными парами эти соединения оказывают корродирующее воздействие на металлические поверхности газового оборудования. При сжигании такого газа в теплоэнергетических установках выбросы оксидов серы в отходящих газах будут минимальны.

Таблица 1

Физико-химические свойства газа угольных пластов Талдинского метаноугольного месторождения (скважины УМ-5.4, УМ-5.5, УМ-5.6, УМ-5.7, УМ-5.8, УМ-5.9, УМ-5.10)

Компонент	Единицы измерения	Номер скважины						
		УМ-5.4	УМ-5.5	УМ-5.6	УМ-5.7	УМ-5.8	УМ-5.9	УМ-5.10
CO_2	об. %	0,199	0,922	0,464	0,736	0,455	1,182	1,836
O_2	об. %	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
N_2	об. %	0,861	0,232	0,728	0,395	0,333	0,866	0,846
CH_4	об. %	98,17	96,36	97,66	98,26	98,17	97,20	97,11
C_2H_6	об. %	0,007	0,861	0,006	0,017	0,009	0,008	0,046
C_3H_8	об. %	<0,001	0,157	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,011
$i\text{-}C_4H_{10}$	об. %	<0,001	0,011	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
$n\text{-}C_4H_{10}$	об. %	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
$i\text{-}C_5H_{12}$	об. %	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
$n\text{-}C_5H_{12}$	об. %	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0,001
C_6H_{14}	об. %	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
H_2	об. %	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
He	об. %	0,003	0,008	0,004	0,006	0,006	0,002	0,001
Область значений числа Воббе (высшего) – 41,2-54,5	МДж/м^3	49,0	48,9	49,0	49,1	49,0	49,1	49,1
Объемная теплота сгорания низшая по ГОСТ 31369-2008, не менее 31800 кДж/м^3	кДж/м^3	33090	33100	33050	33030	33140	31970	32790

Контроль за интенсивностью запаха горючего газа обязателен для предотвращения возможных утечек в газораспределительных системах.

Таким образом, специфические свойства метана угольных пластов позволяют использовать его в качестве газа промышленного и коммунального назначения без специальной подготовки (за исключением одорации). Он обладает следующими преимуществами: практически не содержит механические примеси и сернистые соединения, обладает высокой теплотворной способностью.

Заключение

Выполнены исследования состава и физико-химических свойств газа угольных пластов Талдинского метаноугольного месторождения Кузнецкого угольного бассейна.

Методы исследования параметров газа угольных пластов внедрены в регламент производственного технологического контроля на предприятии ООО «Газпром добыча Кузнецк», осуществляющем промысловую добычу метана на Талдинском метаноугольном месторождении.

Показано, что для газа угольных пластов Талдинского месторождения не характерно содержание сернистых соединений, что значительно повышает его экологичность по сравнению с природным газом газонефтяных месторождений. Кроме того, при эксплуатации газораспределительных систем процессы коррозии узлов и оборудования будут незначительны.

Расчетные физические показатели (объемная теплота сгорания низшая, область значений числа Воббе) соответствуют требованиям, предъявляемые к газу промышленного и коммунально-бытового назначения.

Данный комплекс аналитических методов исследования может быть применим и к другим источникам метансодержащих газов (биогазу полигонов ТБО, сельскохозяйственных биогазовых установок, метанотенков).

Список литературы

1. Пирогов, С.Ю. Природный газ. Метан. / С.Ю. Пирогов. – М.: Профессионал, 2006. – 848 с.

2. Qing Ye. Coal Mine Methane Drainage and Comprehensive Utilization in China / Qing Ye, Yan Pi, Zhen Zhen Jia, Hai Zhen Wang // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – V. 295 – 298. – P. 3023-3026.

3. Huang Gesheng. Utilization status and technologies of global coal-bed gas / Huang Gesheng,Yu Tianxue,Li Xuejing // Petrochemical Technology. – 2010. – V. 4. – № 4. – P. 341-346.

5. Сторонский, Н.М. Нетрадиционные ресурсы метана угленосных толщ / Н.М. Сторонский, В.Т. Хрюкин, Д.В. Митронов, Е.В. Швачко // Рос. Хим. Журнал. – 2008. – том LII. – № 6. – С. 63-72.

6. Шестопалов, А.В. О технологии промысловой добычи метана из угольных пластов / А.В. Шестопалов // Сб. науч. тр. ДГА. – 1998. –№5. – С.18-21.

7. Голосков, С.И. Состояние и основные направления снижения крупных аварий на угольных шахтах. С.И. Голосков, Д.А Трубицына / Вестник – 2012. – № 1. – С. 122.

8. Бирюков, А.Н. Использование природного газа санитарным автотранспортом / А.Н. Бирюков //Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 1. – С. 13.

9. Белошицкий М. В. Использование шахтного метана в качестве энергоносителя / М. В. Белошицкий, А. А. Троицкий // Турбины и дизели. – 2006. – № 6. – С. 2 – 9.

10. Tian, Mao-sheng. Application analysis of coal-bed methane in automobile / Mao-sheng Tian // Chongqing University of Science and Technology. – 2010. – № 3. – P. 96-98.

11. ООО «Газпром добыча Кузнецк» сегодня [Электронный ресурс] – режим доступа: http://kuznetsk-dobycha.gazprom.ru/about/today, 01.04.2015.

12. Вашлаева, Н.Ю Экология Кузбасса: цифры, факты, события / — Кемерово: ООО«ИНТ», 2014. — 84 с.

13. ГОСТ 31371.7-2008. Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 7. Методика выполнения измерений молярной доли компонентов. – М.: Стандартинформ, 2009. – 59 с.

14. ГОСТ 22387.4–77. Газ коммунально-бытового потребления. Метод определения содержания смолы и пыли. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 4 с.

15. ГОСТ 22387.2-97. Газы горючие природные. Методы определения сероводорода и меркаптановой серы. – Минск: Межведомственный совет по стандартизации и метрологии, 2005. – 24 с.

16. ГОСТ 22387.5-77. Газ для коммунально-бытового потребления. Методы определения интенсивности запаха. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 6 с.

17. ГОСТ 31369-2008. Газ природный. Вычисление теплоты сгорания, плотности, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава. - М.: Стандартинформ, 2009. – 59 с.

УДК 543.449:622.333

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ТОНКОДИСПЕРСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПОРОШКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЛАЗЕРНОЙ ДИФРАКЦИИ

[1]к.х.н Журавлева Н.В., [1]Потокина Р.Р., [2]член-корр. РАН, д.х.н. Исмагилов З.Р.
1 - ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр», г. Новокузнецк, Россия
2 – Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, г. Кемерово, Россия

Аннотация. Измерения гранулометрического состава порошков углей марок ГЖО, ОГ, Г проводились методом лазерной дифракции при диспергировании образцов в водной среде с добавкой поверхностно-активного вещества Dusazin 901 (Fritsch, Германия), при средней скорости перемешивания и мощности ультразвука 60 Вт. Выполнена метрологическая оценка результатов определений ситовым методом и методом лазерной дифракции.

Ключевые слова: угольные порошки, ситовой анализ, лазерная дифракция, распределение частиц по размерам

Исследование гранулометрического состава угольных порошков имеет важное значение при проведении технологического, экологического и санитарно-гигиенического контроля.

Использование пылеугольного топлива (ПУТ) для замены кокса в черной металлургии предполагает осуществление производственного контроля показателей качества ПУТ, в том числе и его гранулометрического состава. Утилизация отходов угольной промышленности путем создания стабильного во времени водоугольного топлива (ВУТ) требует проведения контроля гранулометрического состава угольных шламов. Обязательным условием при совершенствовании систем очистки выбросов обогатительных фабрик, теплоэнергетических установок, пунктов погрузки-разгрузки угля является информация о размере частиц в промышленной пыли. Поиск оптимальных инженерных решений по очистке сточных вод угольных предприятий от взвешенных веществ, повышение эффективности работы шламоотстойников также требует информации о гранулометрическом составе частиц и расчете кривых осаждения.

Поскольку угольные предприятия являются источником поступления взвешенных веществ в воздух рабочей зоны и атмосферный воздух, то при экологическом и санитарно-гигиеническом контроле и надзоре вопросы определения размера частиц имеют большое значение. Кроме того, введение гигиенических нормативов содержания частиц в атмосферном воздухе с размерами 2,5 мкм (PM2,5) и 10 мкм (PM10) [1] предполагает совершенствование аналитического контроля и разработку методик анализа тонкодисперсных материалов.

Для определения гранулометрического состава дисперсных материалов используется широкий набор методов: ситовой анализ, седиментационный анализ, кондуктометрический метод (метод Коултера), микроскопия, лазерная дифракция [2]. Все эти методы имеют свои достоинства и недостатки, ограничения по применению.

Определение гранулометрического состава порошков углей выполняется ситовым методом в соответствии с ГОСТ 2093-82 [3]. Однако, при анализе образцов с размерами

частиц менее 40 мкм данный метод применять невозможно. Поэтому разработка методики определения гранулометрического состава тонкодисперсных угольных порошков является актуальной, а метод лазерной дифракции может быть эффективно использован для решения данной задачи.

Целью данной работы являлась разработка методики определения гранулометрического состава порошков углей методом лазерной дифракции.

В качестве объектов исследований были выбраны стандартные образцы углей марки ГЖО (СО-41), марки ОС (СО-42), марки Г (СО-43), измельченные до класса крупности 0-0,2 мм и подготовленные ОАО «ЗСИЦентр» к проведению межлабораторной аттестации. Исследование однородности гранулометрического состава стандартных образцов угля проводилось в классах крупности (-0,074+0 мм), (-0,1-0,074 мм), (-0,2+0,1 мм) на 20 пробах каждого образца. Кроме того, были проведены определения гранулометрического состава образцов угольных шламов, выбросов пыли обогатительных фабрик.

Экспериментальная часть

Для определения гранулометрического состава порошков углей использовали два метода: ситовой анализ по ГОСТ 2093-82 [3] и лазерную дифракцию.

Определение гранулометрического состава порошков угля методом лазерной дифракции проводили с использованием анализатора крупности частиц Analysette 22 MicroTec plus («FRITSCH», Германия). Измерительный блок анализатора имеет два полупроводниковых лазера: зеленый (λ=532 нм, 7 мВт) и инфракрасный (λ=850 нм, 9 мВт), которые позволяют проводить измерения в диапазоне 0,08-2000 мкм. При этом детектор регистрирует 108 классов размеров частиц. Блок диспергирования имеет объем жидкости 300-500 мл, оснащен центробежным насосом с регулируемой производительностью и ультразвуковым излучателем с регулируемой мощностью (макс. 60 Вт, частота 40 кГц). В контуре пробы используются следующие материалы: нержавеющая сталь, тефлон, стекло ВК7, Viton Extreme, шланги из Norprene A-60-G. Рабочей жидкостью в блоке диспергирования являлась водопроводная вода, дополнительно очищенная системой катриджных фильтров. Для создания дисперсионной среды применяли поверхностно-активные вещества: Dusazin 901 (Fritsch, Германия).

Для оптимизации условий выполнения измерений методом лазерной дифракции при диспергировании в водной среде были выбраны следующие параметры: концентрация поверхностно-активного вещества в измерительном контуре, скорость циркуляции пробы через измерительную ячейку, мощность ультразвуковой обработки суспензии.

Результаты и обсуждения

Подбор оптимальных условий проведения измерений при анализе методом лазерной дифракции осуществляли как на подготовленных стандартных образцах углей, так и пробах угольных шламов и промышленной пыли.

На рис. 1 представлено влияние мощности ультразвука блока жидкостного диспергирования пробы на результат измерения распределения частиц по размерам для пробы угольного шлама. Показано, что увеличение мощности от 0 до 18 Вт приводит к разрушению агломератов частиц, а последующее увеличение мощности до 36 Вт способствует образованию крупных агрегатов частиц (до 1000 мкм). Однако, при мощности 60 Вт агрегаты частиц вновь разрушаются.

Таким образом, мощность ультразвука блока жидкостного диспергирования оказывает значительное влияние на результат измерения порошков угольных проб и должна быть обязательно тщательно подбираться. Склонность частиц к агрегированию под действием ультразвукового излучения будет зависеть от химического состава пробы и наличия в ней соединений, имеющих магнитные свойства. Например, присутствия оксидов железа в пробах угольных шламов или промышленных выбросов.

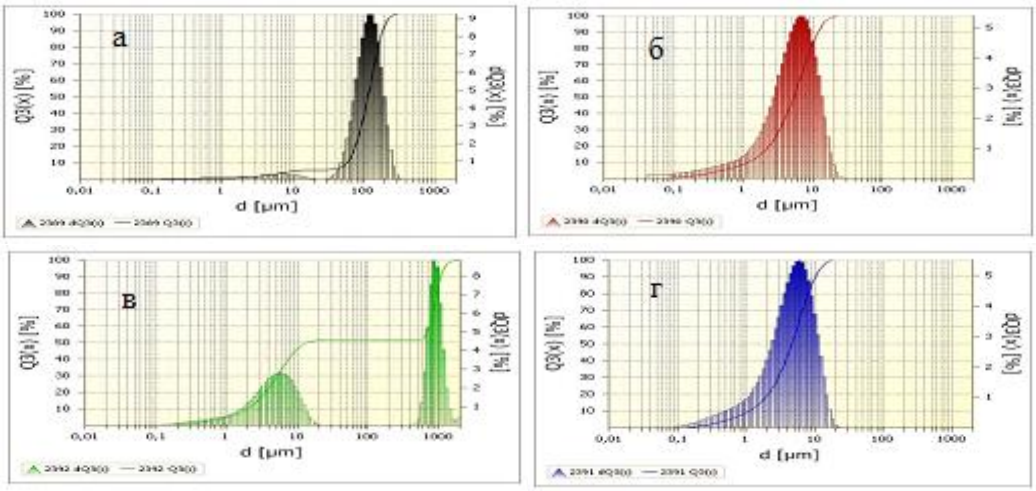
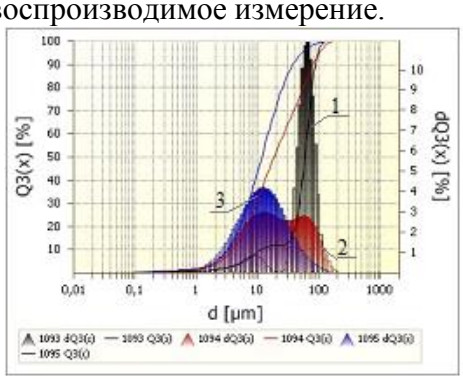


Рис. 1. Влияние мощности ультразвукового излучения (УЗИ) блока жидкостного диспергирования пробы на результат измерения распределения частиц по размерам для пробы угольного шлама. а – мощность УЗИ 0 Вт, б – мощность УЗИ 18 Вт, в – мощность УЗИ 36 Вт, г – мощность УЗИ 60 Вт

Эти же свойства образцов оказывают влияние и на оптимальную скорость циркуляции пробы через измерительную ячейку.

Важнейшим параметром при измерении гидрофобных материалов в водных средах является тип и концентрация поверхностно-активного вещества в измерительном контуре. Для эффективного смачивания порошков угля был использован препарат Dusazin 901 (Fritsch, Германия). Влияние концентрации данного ПАВ на результат измерения гранулометрического состава пробы стандартного образца угля СО-42 марки ОС представлено на рис. 2. Гидрофобный угольный порошок без добавления ПАВ образует агрегаты частиц, тогда как использование 0,05 мл Dusazin 901 на 600 мл диспергирующей жидкости обеспечивает стабильное и воспроизводимое измерение.



1- без добавления ПАВ; 2- 0,02 мл Dusazin 901; 3 - 0,05 мл Dusazin 901

Рис. 2. Влияние концентрации ПАВ в водной дисперсионной среде измерительного контура прибора на результат измерения гранулометрического состава пробы стандартного образца угля СО-42 марки ОС

Для качественного диспергирования гидрофобных порошков в водных средах используются различные поверхностно-активные вещества (Calgon, Tween, Pril, Dusazin 901 и др.), буферные растворы. В работе [4] измерения дисперсного состава ВУТ методом лазерной дифракции проводили в водной среде, при этом авторы указывали на образование агломератов частиц. В работе [5] были предложены условия для определения гранулометрического состава пресс-порошков на основе пекового кокса с предварительным диспергированием образцов в растворе 25 %-ного спирта с обработкой во внешней ультразвуковой ванне в течение 30 с. Измерения методом лазерной дифракции проводили при постоянно включенном ультразвуковом диспергаторе измерительной ячейки. Авторы [5] при

измерениях гранулометрического состава порошков графитов в качестве ПАВ использовали бытовую жидкость для мытья посуды «FAIRY», имеющую в своем составе анионное и неионогенное ПАВ. В работе [6] для диспергирования проб порошка искусственного графита предложено использовать неионогенный фторсодержащий ПАВ, состоящий из гидрофобного фторалкильного радикала (1H,1H,11H-эйкозофтор-1-ундеканол) и гидрофильной части, содержащий первичные и вторичные свободные гидроксильные и метиленгидроксильные группы при оксипропиленовой цепочке. Метод лазерной дифракции был использован авторами [7] для анализа угольных порошков в диапазоне 18-224 мкм, отмечено увеличение агрегирования при уменьшении размеров частиц, однако условия измерения не описаны. Авторами [8] изучен дисперсный состав водоугольных суспензий с размерами частиц в диапазоне 38-250 мкм, показано влияние размеров частиц на устойчивость суспензий при их стабилизации различными ПАВ. Таким образом, использование ПАВ при диспергировании угольных порошков является обязательным условием получения правильных результатов при анализе методом лазерной дифракции.

Проведены сличительные исследования по определению гранулометрического состава порошков различных марок угля методами лазерной гранулометрии и ситовым анализом по ГОСТ 2093-82. Результаты измерений приведены в табл. 1-3. Удовлетворительные результаты получены для образцов марок ГЖО и Г во всех диапазонах определения. Для образцов марки ГО предел воспроизводимости между двумя методами в диапазонах 0,074+0 и -0,20+0,10 мм превышен в 1,5 раза и 1,2 раза соответственно.

Таблица 1

Результаты определения гранулометрического состава стандартных образцов угля СО-41, СО-42, СО-43 ситовым методом по ГОСТ 2093-82

Наименование стандартного образца	Класс, мм	Выход продукта, % (среднее значение)	Среднеквадратическое отклонение
СО-41, уголь марки ГЖО	-0,074+0	76,93	0,74
	-0,10+0,074	11,38	0,81
	-0,20+0,10	11,62	0,88
СО-42, уголь марки ОС	-0,074+0	78,92	1,45
	-0,10+0,074	10,55	1,26
	-0,20+0,10	10,61	0,65
СО-43, уголь марки Г	-0,074+0	75,80	3,26
	-0,10+0,074	12,84	2,37
	-0,20+0,10	10,61	1,38

Таблица 2

Результаты определения гранулометрического состава стандартных образцов угля СО-41, СО-42, СО-43 методом дифракции лазерного излучения с применением лазерного анализатора Analysette-22 Micro Tec plus (Fritsch, Германия)

Наименование стандартного образца	Класс, мм	Выход продукта, % (среднее значение)	Среднеквадратическое отклонение
СО-41, уголь марки ГЖО	-0,074+0	84,23	5,01
	-0,10+0,074	10,18	2,11
	-0,20+0,10	5,60	2,95
СО-42, уголь марки ОС	-0,074+0	95,04	1,21
	-0,10+0,074	4,20	1,02
	-0,20+0,10	0,77	0,29
СО-43, уголь марки Г	-0,074+0	82,01	0,55
	-0,10+0,074	11,32	0,21
	-0,20+0,10	6,65	0,35

Таблица 3

Сводная таблица результатов определения гранулометрического состава стандартных образцов угля СО-41, СО-42, СО-43 ситовым методом и методом лазерной дифракции

Наименование стандартного образца	Класс, мм	Разность результатов испытаний, полученных между двумя методами, % абс.	Предел воспроизводимости по ГОСТ 2093-82, R, %	Оценка разности результатов испытаний, полученных двумя методами
СО-41, уголь марки ГЖО	-0,074+0	7,30	10,5	удовл.
	-0,10+0,074	1,20	8,1	удовл.
	-0,20+0,10	6,02	8,1	удовл.
СО-42, уголь марки ОС	-0,074+0	16,12	10,5	неудовл.
	-0,10+0,074	6,35	8,1	удовл.
	-0,20+0,10	9,84	8,1	неудовл.
СО-43, уголь марки Г	-0,074+0	6,21	10,5	удовл.
	-0,10+0,074	1,52	8,1	удовл.
	-0,20+0,10	3,96	8,1	удовл.

Таким образом, определение гранулометрического состава угольных тонкодисперсных порошков методом лазерной дифракции обеспечивает получение правильных результатов при условии проведения измерений в водной среде с добавкой высокоэффективного поверхностно-активного вещества, при средней скорости перемешивания и мощности ультразвука 60 Вт.

Типичное распределение частиц по размерам пробы СО-41 стандартного образца угля марки ГЖО, полученное методом лазерной гранулометрии на анализаторе ANALYZETTE 22 MicroTec plus, приведено на рис. 3. Условия измерения: дисперсионная среда - вода, с добавкой 0,05 мл Dusazin 901 (Fritsch, Германия); мощность ультразвука 60 Вт; характеристики распределения: d10 – 5,41 мкм, d50 – 27,54 мкм, d90 – 77,09 мкм.

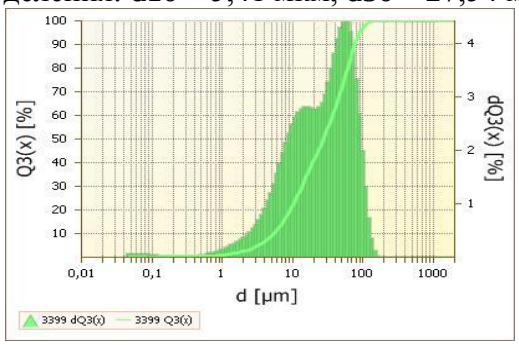


Рис. 3. Типичное распределение частиц по размерам пробы СО-41 стандартного образца угля марки ГЖО, полученное методом лазерной гранулометрии на анализаторе ANALYZETTE 22 MicroTec plus

Заключение

Предложен метод определения гранулометрического состава угольных тонкодисперсных порошков методом лазерной дифракции.

Измерения проводятся в водной среде с добавкой высокоэффективного поверхностно-активного вещества Dusazin 901 (Fritsch, Германия), при средней скорости перемешивания и мощности ультразвука 60 Вт.

Метрологическая оценка результатов определений ситовым методом и методом лазерной гранулометрии проведена на сериях стандартных образцов углей марок ГЖО, ОГ,

Г для диапазонов -0,074+0, -0,10+0,074, -0,20+0,10 мм. Удовлетворительные результаты получены для образцов марок ГЖО и Г во всех диапазонах определения. Для образцов марки ГО предел воспроизводимости между двумя методами в диапазонах 0,074+0 и -0,20+0,10 мм превышен в 1,5 раза и 1,2 раза соответственно.

Список литературы

1. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.2604-10. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 19 апреля 2010 г. № 26.

2. Коузов, П.А. Основы анализа дисперсионного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П.А. Коузов // Л.: Химия, 1971. – С. 280.

3. ГОСТ 2093-82 «Топливо твердое. Ситовый метод определения гранулометрического состава». М.: ИПК Издательство стандартов. 2001. 20 с.

4. Эпштейн, С.А. Определение дисперсности композиционных водоугольных топлив / С.А. Эпштейн, В.А. Барковская, Е.Г. Горлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006 . – № 1. – С. 336-339.

5. Тимощук, Е.И. Применение лазерной дифракции для определения размеров частиц наполнителей и пресс-порошков наполнителей в производстве тонкозернистых графитов / Е.И. Тимощук, В.М. Самойлов, Е.В. Тимощук, В.К. Смирнов. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2010. Т. 76. – № 5. – С. 26-29.

6. Тимощук Е. И. Определение размеров частиц тонкодисперсных порошков искусственного графита методом лазерной дифракции / Е. И. Тимощук, В. М. Самойлов, А. Я. Ляпунов, Ю. М. Балаклиенко, А. Б. Борунова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2012. – Т. 78. – №11. – С. 25-28.

7. Lu H., Guo X., Liu Y., Gong X. Effect of particle size on flow mode and flow characteristics of pulverized coal // KONA Powder and Particle Journal. – 2015. – No. 32. – P. 143-153.

8. Buranasrisaki P., Narasingha M.H. Effect of particle size distribution and packing characteristics on the preparation of highly-loaded coal-water slurry // International Journal of Chemical Engineering and Applications. – 2012. – V. 3. – No. 1. – P. 31-35.

УДК 547.211:622.411.33:552.57

ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОНОСНОСТИ УГЛЕЙ ПРЯМЫМ И ОБЪЕМНЫМ МЕТОДАМИ

[1]Потокина Р.Р., [1]к.х.н Журавлева Н.В., [2]член-корр. РАН, д.х.н. Исмагилов З.Р.
1 - ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр», г. Новокузнецк, Россия
2 - Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, г. Кемерово, Россия

Аннотация. Проведен сравнительный анализ прямого и объемного методов определения газоносности угольных пластов. Показано, что объемный метод определения газоносности угольных пластов дополняет и уточняет величину газоносности, полученную прямым методом.

Ключевые слова: уголь, газоносность, объемный и прямой методы определения газоносности, метан угольных пластов, адсорбция

Введение

Уголь является одним из основных источников энергии как в промышленно развитых странах, так и в странах с развивающейся экономикой. С увеличением показателей

добычи угля и ростом глубины залегания угольных пластов с высокой метаноносностью угольные шахты все чаще сталкиваются с проблемой безопасности ведения горных работ. В России примерно 80% действующих угольных шахт характеризуются высокими выделениями метана, что создает в ряде случаев взрывоопасные ситуации в горных выработках. На сегодняшний день с развитием технологий и методов разведки, бурения и добычи метан угольных пластов (МУП) стал рассматриваться как высокоэффективный энергоноситель. Добываемые газы угольных пластов применяются в производстве электроэнергии, в химической промышленности, в автомобильном транспорте и котельных установках. Промысловая добыча МУП – это наукоемкий и финансово затратный процесс, сопровождающийся как геологическими, так и техническими рисками. Однако с появлением новых эффективных технологий извлечения метана из угольных пластов и ростом цен на традиционные источники топлива число проектов по промышленной добыче метана неуклонно растет. Одним из основных критериев для основания промышленной добычи МУП – это его прогнозные запасы. Оценка и прогнозирование ресурсов углеметановых месторождений является сложной и многостадийной задачей, учитывающая тектонику, угленосность, трещиноватость, метаморфизм углей, фильтрационные и сорбционные свойства углей.

На этапе предварительной разведки для определения газоносности исследуемой площади необходимо установить: общий характер качественного состава газов и газовую зональность; глубину поверхности зоны метановых газов и общую качественную характеристику природной газоносности угольных пластов в зоне метановых газов; возможное влияние геологических факторов на распределение газов в угольных пластах и вмещающих породах.

На стадии детальной разведки необходимо определить природную газоносность рабочих пластов в зоне метановых газов на всей площади месторождения (участка) с предельной погрешностью не более ± 5 $м^3/т$ [1].

Для количественного определения газоносности угольных пластов применяются методы прямого и объемного определения. Основным методом изучения газоносности угольных пластов служит метод прямого определения с помощью керногазонаборников**.** Метод прямого определения основан на применении специальных колонковых снарядов (керногазонаборников), которые позволяют отобрать пробы угля, пород и газа в их естественном соотношении и определить содержание газа в керне, близкое к природному [2, 3]. Серьезным недостатком данного метода является сложность герметизации керногазонаборников (КГН), что приводит к выбраковке более 50% проб. Потеря газа при отборе проб из угольного пласта наблюдается во время извлечения угольного керна до его герметизации и в результате частичной дегазации при нарушении естественного состояния угольного массива при бурении скважины.

Метод объемного определения сводится к установлению метаноносности угля или пород по их газоемкости (способности угля поглощать газ в определенных термодинамических условиях), полученной лабораторным путем, для условий давления газа и температуры, замеренных в скважинах в угольном пласте или породном слое [4-7].

Используя метод определения газоемкости углей объемным методом можно восстановить до 50% проб, имеющих потери метана, что существенно повысит точность прогноза природной метаноносности угольных пластов. Однако данный метод редко применяется из-за отсутствия необходимой приборной базы.

Целью данной работы является сравнительный анализ двух методов количественного определения метана на образцах угольных кернов, отобранных в герметичные стаканы из угольных пластов, находящихся в зоне метановых газов.

Экспериментальная часть

Прямой метод определения газоносности. Дегазацию угольных кернов, отобранных в герметичные стаканы проводили на термовакуумной установке (рис. 1), изготовленной ОАО «ЗСИЦентр» (г. Новокузнецк). Основными узлами термовакуумной установ-

ки являются: мановакуумметры, измеряющие давление и состояние вакуума в газосборной емкости; термостат, обеспечивающий регулирование температуры от 20°С до 80°С; вакуумный насос; водонапорный бак для вытеснения газа из газосборной емкости в измерительную газовую бюретку; краны переключатели; газосборная и водосливная линии; линии подключения КГН к термовакуумной установке.

Рис. 1. Термовакуумная дегазационная установка для извлечения газа из керноприемника (конструкция ОАО «ЗСИЦентр, г. Новокузнецк)

Извлечение газа из угольных кернов проводили в два этапа: при температуре 20°С, атмосферном давлении и при температуре 80°С, давлении 10-15 мм рт.ст. в течение 8 часов. Извлечение газа из угольного керна прекращали, когда в условиях нагрева и вакуума скорость выделения газа составляла 10-15 $см^3$/ч. Суммарный объем газа в пробе определяли суммированием объемов газов, выделившихся на всех этапах дегазации.

Анализ компонентного состава газа проводили на газовых хроматографах «Кристалл-5000.2» методом, основанным на сочетании газожидкостной и газоадсорбционной хроматографии [8].

Газоносность образцов углей рассчитывали как отношение суммарного объема извлеченного горючего газа к 1 г сухой беззольной массы пробы, $см^3$/ г

Аналитическую влагу определяли как потерю массы навески угля при нагревании в сушильном шкафу при 105-110°С до постоянной массы. Для определения зольности пробу угля озоляли в муфельной печи, нагреваемой с определенной скоростью до температуры (815±10)°С, и выдерживали при этой температуре до постоянной массы. Зольность в процентах рассчитывали по массе остатка после прокаливания.

Лабораторный объемный метод изучения газоносности углей. Образцы для определения газоемкости угля объемным методом готовили из материала угольных кернов, прошедших дегазацию. Пробоподготовка включала в себя сушку и измельчение. Влияние влажности и размера зерен фракций угольных образцов (от 0,063 до 2 мм) на процесс сорбции метана углем были изучены в работах [9, 10]: в высушенных образцах сорбционное равновесие достигалось за 8 часов, а для влажных образов – за 45 часов; равновесие сорбции метана на фракциях с наибольшими размерами достигалось через 6 часов; для наименьших фракций – через 1 час. Для проведения эксперимента были выбраны образцы, предварительно измельченные до фракции 0,20-0,25 мм, термовакуумированные при температуре 105°С и остаточном давлении 10 мм рт. ст.

Для определения количества метана, сорбированного угольным образцом, использовали установку по определению максимальной газоемкости угля. Установка разработана совместно Институтом углехимии и химического материаловедения СО РАН (г. Кемерово) и ОАО «ЗСИЦентр» (г. Новокузнецк).

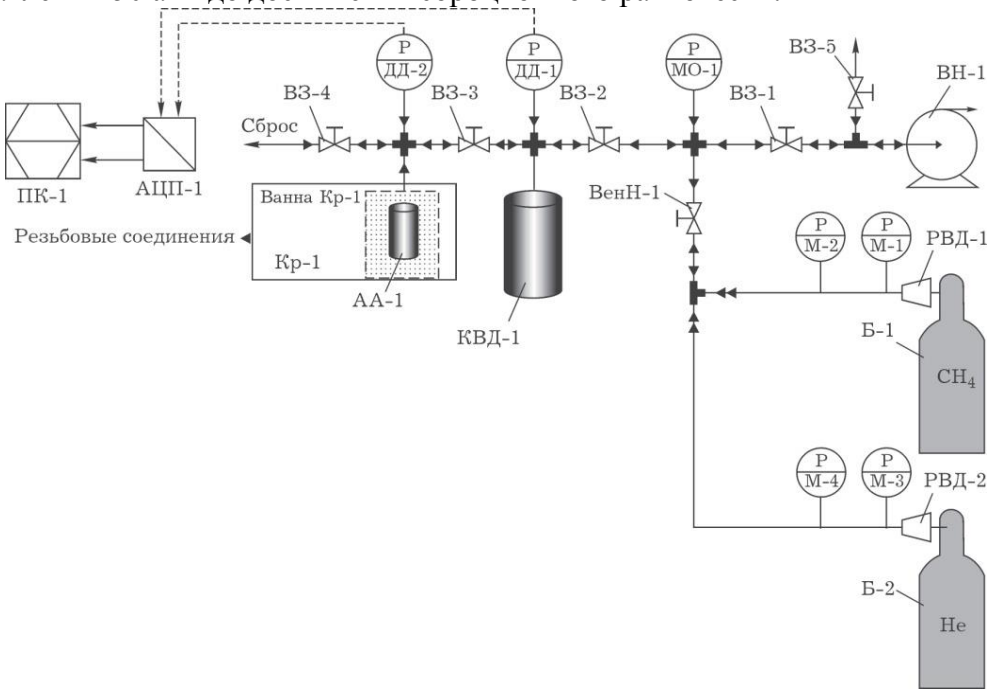
Технические характеристики установки, принципиальная схема которой приведена на рис. 2, следующие: объем ампулы-адсорбера – 30 $см^3$, объем колбы высокого давления

– 400 см^3, рабочее давление 1-80 атм, рабочая температура - +5…+50 ºС, давление газа в системе вакуумирования –10 мм рт. ст.

Данная установка позволяет проводить исследования максимальной газоемкости углей при температуре и давлении, равными пластовым. Определение количества адсорбированного газа испытуемым образцом основано на изменении разности показаний датчиков давления с момента начала эксперимента и до достижения сорбционного равновесия. Отображение данных по текущему давлению адсорбата протекает в непрерывном режиме на мониторе ПК. Регистрация показаний давлений проходит с выбранной периодичностью от 1 секунды до 3 часов. В зависимости от целей исследования в качестве адсорбата возможно использование метана, диоксида углерода, а также имитатора природного газа заданного состава.

Исследуемые образцы угольных проб отобраны из зоны метановых газов. Концентрация метана в газе, извлеченном из угольных кернов, достигает 93 % (об.), поэтому в данной работе эксперименты проводили с чистым метаном.

При выполнении испытаний проба угля (навеска массой 10-15 г) помещалась в ампулу-адсорбер высокого давления. Для определения свободного объема ампулы-адсорбера после загрузки образца использовали гелий. Герметичность ампулы-адсорбера с пробой проверяли также с помощью гелия при давлении 20 атм. Если показания давления в ампуле-адсорбере за 12 часов не изменялись, то система считалась герметичной. Измерение газоемкости по метану (метаноемкости) угольных образцов проводили при температуре 20 ºС и давлении 50 атм до достижения сорбционного равновесия.



ВН-1 – вакуумный насос, Б-1, Б-2 – баллоны газовые; РВД-1, РВД-2 – редукторы высокого давления; КВД-1 – колба высокого давления; АА-1 – ампула-адсорбер; КР-1 – криостат; ВеН-1 – вентиль-натекатель; ВЗ-1 – ВЗ-5 – вентили запорные высокого давления; М – манометры показывающие; ДД – датчики давления; АЦП-1 – конвертор; ПК-1 – персональный компьютер

Рис. 2. Функциональная схема установки по определению максимальной газоемкости (метаноемкости) угля при давлении до 80 атм

Количество адсорбированного метана определялось по падению давления в ампуле при достижении равновесного состояния. Метаноемкость образцов углей (см^3/г) рассчитывали как отношение поглощенного объема газа к 1 г беззольной массы пробы, влажность пробы не учитывали, так как образцы перед взвешиванием высушивали.

Результаты и обсуждения

Показатели газоносности, полученные двумя методами, представлены в табл 1. Значения метаноемкости угольных образцов № № 1, 2 выше, чем значение газоносности, полученное прямым способом, что связано с возможными потерями газа при отборе угольных кернов. Значения метаноемкости образцов № № 3 - 6 ниже, чем величина газоносности, однако расхождения полученных результатов меньше установленной предельной погрешности (не более ± 5 $м^3/т$).

Таблица 1

Показатели газоносности углей, полученные объемным и прямым методами

Проба №	Метаноемкость пробы, $см^3/г$	Газоносность пробы, $см^3/г$
1	12,2	10,6
2	13,5	13,0
3	10,7	13,5
4	10,5	13,7
5	8,6	11,2
6	9,1	10,3

Рассмотрены основные лабораторные методы, которые используются для изучения газоносности угольных пластов. Прямой метод является самым распространенным, однако достоверность анализа зависит от многих факторов: времени подъема угольного керна до его герметизации, качества герметизации КГН, своевременной доставки проб в лабораторию. Одним из достоинств объемного метода является возможность проведения серии анализов с одним образцом, отобранным из угольного пласта. Однако, объективная оценка газоносности угольных пластов объемным методом возможна только при выполнении исследований в термодинамических условиях, которые соответствуют природным условиям угольного пласта. Таким образом, оценивая результаты газоносности, полученные двумя методами, можно сделать вывод, что значения метаноемкости, определенные объемным методом, служат дополнительным подтверждением значений газоносности, полученных прямым методом. Объемный метод может использоваться самостоятельно на этапах предварительной разведки газо-угольного месторождения, что позволит значительно сократить материальные затраты на проведение работ.

Список литературы

1. Приказ Ростехнадзора N 679 от 01.12.2011 г. "Об утверждении Инструкции по дегазации угольных шахт".

2. Инструкция по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах (утв. Председателем ГКЗ СССР 07.10.1977 г.). – М.: Недра, 1977, – 96с.

3. ОСТ 41-01-276-87. Природная газоносность угольных месторождений. Методы лабораторного изучения. – Ростов-на-Дону: Ростапринт ВНИГРИуголь, 1988. – 28 с.

4. Методические указания по определению содержания сорбированного и свободного метана в ископаемых углях. – Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1977. – 72 с.

5. Васильковский, В.А. Количество метана на поверхности угля / В.А. Василевский // Горное дело. – 2011. – вып. 48. – С. 45-52.

6. Fitzgeralda, J.E. Adsorption of methane, nitrogen, carbon dioxide and their mixtures on wet Tiffany coal / J.E. Fitzgeralda, Z. Pana, M. Sudibandriyoa, R.L. Robinson, Jr.a, K.A.M. Gasema. // Fuel. – 2005. – Vol. 84. – P. 2351–2363.

7. Алексеев, А.Д. Фазовое состояния и распределение метана в ископаемых углях / А.Д. Алексеев, В.А. Васильковский // Сб. научных трудов Геотехническая механика. – Донецк, 2007. – вып. 73. – 309 с.

8. ГОСТ 31371.7-2008. Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 7. Методика выполнения измерений молярной доли компонентов М.: Стандартинформ, 2009. 21 с.

9. . Fu Xuehai, Qin Yong, Zhang Wanhong et al. // ChineseSci. Bull. – 2005. – V. 50. – P. 66-68.

10. Сластунов, С.В. Физический механизм и параметры сорбции метана в угольных пластах / С.В. Сластунов, Г.Г. Каркашадзе, К.С. Коликов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 11. – С. 414-420.

УДК 622.831

АНАЛИЗ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ШАХТАХ КУЗБАССА

к.т.н. Абрамов И. Л.
Институт угля СО РАН,
Кемерово, Россия

Аннотация. Рассмотрены классификация, виды, причины газодинамических явлений в шахтах. Выполнен анализ характерных признаков и опасности последствий различных видов газодинамических явлений. Представлена разработанная база данных внезапных выбросов угля и газа на шахте.

Ключевые слова: газодинамическое явление, внезапный выброс угля и газа, классификация динамических явлений в угольных шахтах.

В числе опасных факторов, сопровождающих добычу угля подземным способом, динамические явления в шахтах представляют собой наиболее сложные по природе и опасные по последствиям явления вследствие высокой динамической мощности и выделения большого количества газа за короткий промежуток времени. Их последствиями могут аварии по причине внезапных загазований и завалов выработок углем и породой, а также взрывов метана и угольной пыли, разрушение крепи выработок, повреждение машин и механизмов, оборудования, приборов.

В табл. 1 приведены имеющиеся статистические сведения о трех видах наиболее часто происходящих на шахтах динамических явлений: внезапных выбросах угля и газа, внезапных выдавливаниях угля с повышенным газовыделением и внезапных обрушениях угля с повышенным газовыделением [1].

Внезапные выбросы угля и газа представляют самую большую опасность среди других динамических явлений. Особенно опасно их проявление на мощных и очень газоносных пластах Кузнецкого бассейна, когда при внезапном разрушении массива освобождается газ в огромных объемах и распространяется по горным выработкам, что может привести и не однажды приводило к катастрофам. Для решения задачи эффективного выбора методов и средств предотвращения геодинамических явлений (ГДЯ) предложена новая классификация динамических явлений в шахтах [2]. Наибольшую опасность среди ГДЯ представляет группа газодинамических явлений: внезапные выбросы угля и газа; внезапные выбросы породы и газа; внезапные выбросы газа с разрушением вмещающих пород; внезапные выбросы газа с разрушением почвы выработки; внезапные выдавливания угля с повышенным газовыделением; внезапные обрушения (высыпания) угля с повышенным газовыделением; суфляры; прорывы газа из зон тектонических нарушений.

Возможность возникновения газодинамических явлений в шахтах определяется сочетанием трех основных факторов: геологических, горнотехнических и технологических. Геологические условия связаны с масштабными динамическими процессами в земной коре, тектоническим строением горного массива, степенью метаморфизма углей, физиче-

скими свойствами горных пород и залежей полезных ископаемых. Газодинамическая опасность возрастает с глубиной разработки месторождений полезных ископаемых. На степень динамической активности горного массива существенно влияет технология ведения горных работ. Формирование и развитие газодинамических явлений определяют газовая зональность и газовая динамика массива на глубинах ведения горных работ.

Таблица 1

Количество и хронология динамических явлений в угольных шахтах России

№ п/п	Угольный бассейн или угленосный район	Кол-во динамических явлений в шахтах, в т. ч.			Всего по бассейнам
		внезапных выбросов	внезапных выдавливаний	внезапных обрушений	
1.	Кузнецкий бассейн	195 (1943-2006)	13 (1986-2006)	16 (1986-2006)	224
2.	Печорский бассейн	275 (1950-2006 гг.)			275
3.	Восточный Донбасс	225, в том числе: до 2006 г. – 126 до 2002 г. – 99	49	7	281
4.	Егоршинско-Каменский район	214 (1944-1966 гг.)			214
5.	Приморский бассейн	23 (1947-1972 гг.)			23
6.	О. Сахалин	1			1
7.	Талнахский	1			1
Итого:		934	62	23	1019

Внезапные выбросы угля и газа представляют собой быстропротекающие лавинообразные процессы разрушения угольного массива горным и газовым давлением и отброса тонкоизмельченного угля газом в выработку [3]. Явления возникают на газоносных пластах, имеющих пачку угля тектонически нарушенной структуры мощностью более 0,2 м, как правило, в зоне геологического нарушения. Происходит выброс разрушенного угля в выработку на расстояние, превышающее протяженность его возможного размещения под углом естественного откоса с образованием в конце откоса, на его поверхности, а также на крепи и оборудовании тонко измельченного до пылевидного состояния угля («бешеной муки»). В момент выброса ощущается «толчок газа», наблюдается резкий подъем концентрации метана в забое и на исходящей до величины, превышающей пределы измерения датчика. Газовыделение превышает природную газоносность, возможно опрокидывание вентиляционной струи. Полость выброса имеет размер по глубине больше, чем по ширине, у устья полость сужена, часто имеет грушевидную форму. Причинами поражения людей являются загазирование выработки, механическое воздействие разрушенным углем или воздушной волной. Газовыделение превышает 30 $м^3$ на 1 т выброшенного угля. Предупредительные признаки явления: треск и удары в призабойной части массива, отскакивание и шелушение угля на поверхности забоя, повышенное газовыделение в выработку при отбойке угля, зажатие штанг, вынос штыба газом при бурении.

Внезапные выбросы породы и газа имеют сходную природу, но сопровождаются выносом породы по выработке потоком выделяющегося газа. Возникают в газонасыщенных высокопористых песчаниках или, при проведении выработок буровзрывным способом, в зоне геологического нарушения. В результате выброса наблюдается разрушение породного массива за контуром выработки. Горная порода измельчается до размеров

крупнозернистого песка. Наблюдается повышенный уровень газовыделения в выработку, регистрируются воздушные толчки и сотрясение массива. Угол откоса вынесенной газом породы меньше естественного. Отличительными признаками выброса породы является деление бурового керна на выпукло - вогнутые диски, увеличение степени дробления породы при буровзрывных работах.

Внезапные выбросы газа с разрушением вмещающих пород (кровли или почвы) выработки возникают в зонах влияния геологических нарушений или пачек тектонически нарушенного угля при труднообрушаемой кровле. Вероятность возникновения явления повышается при большой площади обнажения пород почвы (кровли), ведении горных работ в зоне повышенного горного давления. Наблюдается образование видимых трещин, ориентированных по нормали или под некоторым углом к напластованию пород и, как правило, вдоль линии очистного забоя или оси подготовительной выработки, поднятие почвы, повышенное выделение газа в горную выработку, иногда с кратковременным опрокидыванием вентиляционной струи. Возможны повреждения крепи и оборудования. Основным повреждающим фактором является газ. Прогноз явления может быть связан с регистрацией акустических, колебательных процессов, интенсивного пучения почвы, повышенного давления на крепь.

Внезапные выдавливания угля с повышенным газовыделением отличает процесс отжима угля горным и газовым давлением из призабойной части пласта в выработку. Встречается на относительно прочных газоносных пластах. Между кровлей и пластом образуется щель, заполненная тонко измельченным углем. Наблюдается повреждение крепи и оборудования. Газовыделение значительно превышает обычный уровень, близкий к газовыделению при внезапном выбросе. Возможно поражение людей в результате загазирования выработки или механического воздействия разрушенным углем. Для процесса характерны треск и удары в призабойной части массива, повышенное газовыделение при отбойке угля, зажатие инструмента при бурении.

Суфляры сопровождаются стабильно высоким выделением газа из видимых пустот и трещин. Суфляры возникают на газоносных угольных пластах с наличием внутрипластовых пустот и развитых трещин, как правило, имеющих подпитку из зоны крупного геологического нарушения. Газовыделение, с медленным снижением, продолжается от нескольких часов до нескольких месяцев. Поражающим фактором является загазирование выработки, сопровождаемое высокочастотными акустическими сигналами.

Прорывы газа из зон тектонических нарушений представляют собой интенсивное кратковременное выделение большого объема газа из прилежащей к нарушению зоны угольного пласта. Проявляются при вскрытии тектонического нарушения как результат воздействия на забой выемочным механизмом или при ведении буровзрывных работ. Возникают на высокогазоносных пластах, при преимущественном действии энергии газа, наличии трещин и пустот в пласте и боковых породах. Отличительными признаками является кратковременное протекание, большое количество выделившегося газа при небольшом объеме разрушенного угля, разрушение и вынос разрушенного угля в выработку. Возможны удары в массиве, сопровождающиеся воздушными толчками, опрокидываним вентиляционной струи. Наблюдается вскрытое выработкой геологическое нарушение, являющееся коллектором газа. Основным поражающим фактором является газ.

Лидером по числу зарегистрированных газодинамических явлений в Кузбассе является шахта «Северная». Для анализа причин вызывающих газодинамические явления, определения количественных и качественных показателей физических процессов, вызывающих и сопровождающих газодинамические процессы, решения задач прогноза и предотвращения газодинамических явлений в Кузбассе подготовлена база данных внезапных выбросов угля и газа на шахте «Северная» Кузнецкого угольного бассейна [4]. Информация получена на основе анализа 39 зарегистрированных случаев внезапных выбросов угля и газа при отработке пласта Владимировского за период с 1951 по 1979 гг.

База содержит информацию, которая характеризует условия, особенности протекания, предпосылки возникновения и последствия произошедших газодинамических явлений. Газодинамические явления зарегистрированы в диапазоне глубин от 178 до 366 м от поверхности. Мощность пласта колеблется от 0,5 до 3,5 м при мощности перемятой пачки от 0,8 до 3 м. В 11 случаях отмечено наличие тектонической нарушенности в зоне выброса: дизъюнктивное или пликативное нарушение. Угол падения пласта от 25 до 55 град. Отмечены предупредительные признаки – толчки, удары, треск, отскакивание угля от забоя, глухой гул, усиление давления на крепь, газовыделение, отжим угля, шелушение, снижение крепости угля. Дано описание места ГДЯ, газоносность, коэффициент крепости, влажность, выход летучих, зольность угля, виды работ, производившихся перед выбросом, количество выброшенного газа достигало 10000 м^3, максимальное количество выброшенного угля - 335 т с дальностью отброса – 55 м. В 8 случаях отмечено наличие пылевидного угля в зоне выброса.

Список литературы

1. Зыков В.С., Абрамов И.Л., Торгунаков Д.В. Статистика динамических явлений в шахтах и уточнение их классификации// Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск № 6, 2013. – С. 297-319.

2. Зыков В.С., Абрамов И. Л. Динамические явления в угольных шахтах и их классификация // Маркшейдерия и недропользование, 2012. - № 4, с. 56 - 60.

3. Зыков В.С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах. – Кемерово: НТЦ «Восточный», 2010. – 333 с.

4. Свидетельство № 2014620302 Российская Федерация. База данных внезапных выбросов угля и газа на шахте «Северная» Кузнецкого угольного бассейна : свидетельство об официальной регистрации базы данных / Зыков В.С., Абрамов И.Л., Лихоузов А.А., Балашов О.Ю.; заявитель и правообладатель ФГБУН ИУ СО РАН. -№ 2013621772 ; заявл. 24.12.13 ; зарегистр. в Реестре баз данных 19.02.14. – [1] с.

УДК 622.882:628.33

ПРОВЕДЕНИЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОГО ЭТАПА РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ С МИНИМАЛЬНОЙ ЭМИССИЕЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

д.т.н. Зеньков И.В.
Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука»,
Красноярский научный центр СО РАН,
г. Красноярск, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты сравнения применяемой технологии рекультивации земель на угольных разрезах с технологией, разработанной красноярскими учеными с позиции объемов выброса загрязняющих веществ в атмосферу и на почвенную оболочку. Авторская технология рекультивации нарушенных земель позволяет в разы снизить эмиссию вредных веществ при производстве работ по рекультивации земель, в отличие от применяемой и параллельно значительно снизить затраты на производство работ и улучшить экологические показатели рекультивируемых углепородных отвалов.

Ключевые слова: углепородные отвалы, рекультивация нарушенных земель, экологические показатели, загрязнение атмосферы и почвенной оболочки.

Научной школой в области горнотехнической рекультивации нарушенных земель в Специальном конструкторско-технологическом бюро «Наука» Красноярского научного центра Сибирского отделения РАН всесторонне обоснована технология рекультивации земель, рабочие процессы в которой совмещены с производством вскрышных работ. Со-

гласно нашей концепции из стандартного перечня работ по рекультивации земель оставлен один рабочий процесс – это снятие бульдозером плодородного слоя почвы (ПСП). Сравнение применяемых в настоящее время технологий рекультивации земель с технологией, разработанной в СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН, на предмет образующихся газообразных токсических веществ, выбрасываемых в атмосферу при работе дизельных двигателей внутреннего сгорания, а также загрязняющих почвенную оболочку, ранее не проводилось. Поэтому, на наш взгляд, целесообразно провести такое сравнение с представлением результатов для горнодобывающих предприятий, надзорных органов, органов государственного управления и других заинтересованных лиц, поскольку, на наш взгляд, при проектировании технологий горнотехнической рекультивации нарушенных земель на угольных разрезах необходимо и целесообразно оптимизировать и минимизировать такой важнейший показатель, как объем ядовитых химических соединений, выбрасываемых в атмосферу, а также токсических соединений, загрязняющих почвенную оболочку.

Далее отметим то, что в настоящее время на рекультивации земель угольные разрезы задействуют как железнодорожный, так и автомобильный технологический транспорт, что необходимо учитывать в расчетах по определению объемов загрязняющих веществ. Отличительной особенностью горнотехнического этапа рекультивации на угольных разрезах Канско-Ачинского бассейна является то, что всегда формируют промежуточный склад ПСП. Классическая технология рекультивации земель по ГОСТ включает в себя следующий перечень работ. Снятие ПСП производят тяжелыми бульдозерами типа Т-330, Т-500. За 12-часовую рабочую смену их производительность может достигать 800-900 м^3 при длине набора призмы волочения до 60 м. Погрузку ПСП из буртов высотой 2,5-3,0 м производят гидравлическим экскаватором типа «обратная лопата» с емкостью ковша 1,5-2,0 м^3. За 12-часовую рабочую смену производительность экскаватора может достигать 1000-1100 м^3. Производительность автосамосвалов грузоподъемностью 20-25 т при вывозке ПСП из буртов в промежуточный склад при длине транспортировки ПСП 2,0-2,5 км может изменяться в диапазоне 450-500 м^3.

Следующие расчеты выполнены для технологий рекультивации с использованием на транспортировке ПСП железнодорожного транспорта. В применяемых технологиях ПСП транспортируют в железнодорожных составах после его погрузки из промежуточного склада до отвала. В авторской технологии почвенный слой для рекультивации формируют в забое верхнего вскрышного уступа карьерным экскаватором с одновременной отработкой забоя и погрузкой сформированного для рекультивации почвенного слоя в железнодорожный транспорт и последующей разгрузкой на отвале.

Работы горнотехнического этапа на отвале в применяемых технологиях выполняют в обратной последовательности: погрузка ПСП – транспортировка – разравнивание в два этапа. Отдельной строкой отметим грубую и чистовую планировку на отвале почвенного слоя. После того, как поверхность сформировали идеально ровной, приступают к работам по биологическому этапу рекультивации – выполняют процессы сельскохозяйственных работ – проводят вспашку, фрезерование почвенного слоя, далее проводят посев трав.

Сравнительный анализ технологий проводился исходя из расширения площади горного отвода в 30 га за один календарный год и проведения горнотехнического этапа рекультивации (снятие ПСП) на этой площади. Перечень видов работ по рекультивации земель представлен в табл. 1.

Вполне очевидным является то, что буквально все работы по рекультивации земель проводятся механизмами, оснащенными мощными дизельными двигателями внутреннего сгорания. Мощность последних, как правило, находится в диапазоне 200-400 л.с. Как известно, при сгорании дизельного топлива образуются вещества, загрязняющие атмосферу и почвенную оболочку Земли. В одной и другой технологии фактором, загрязняющим природную среду, выступает работа тепловоза ТЭМ-7. В расчетах по определению объемов выбросов загрязняющих веществ учитывалась разница в дальности транспортировки почвенного слоя в железнодорожном транспорте.

Таблица 1

Перечень видов и объемы работ по рекультивации нарушенных земель

Наименование работ	Ед. измерения	Применяемая технология $M_{ПСП}$=0,3 м	Предлагаемая технология	
			мощность ПСП=0,35 м	мощность ПСП=0,5 м
Снятие ПСП бульдозером	$м^3$	137 000	137 000	195 000
Погрузка ПСП в автосамосвалы	$м^3$	137 000	-	-
Погрузка ПСП на отвале	$м^3$	137 000	-	-
Транспортировка ПСП до мест его нанесения на отвал	$м^3$	137 000	-	-
Грубая планировка ПСП	$м^3$	60 000	-	-
Чистовая планировка ПСП	$м^3$	30 000	-	-
Вспашка, боронование почвенного слоя	га	30	-	-
Посев трав	га	30	-	-

Результаты расчетов по определению объемов загрязняющих веществ представлены в табл. 2. Кроме того, мы также учитывали мощность почвенного слоя в разработанной авторами технологии с учетом минимизации его потерь, в отличие от применяемых технологий, где потери почвенной оболочки достигают 80-90 %.

Таблица 2

Токсические вещества, выделяемые в ходе реализации технологий рекультивации земель

Наименование	Применяемая технология	Предлагаемая технология	
		мощность ПСП=0,35 м	мощность ПСП=0,5 м
Оксид углерода CO, т	6,56	2,4	3,4
Оксид азота NO_x, т	9,84	3,6	5,1
Углеводороды CH, т	2,6	0,96	1,36
Оксид серы SO_x, т	6,56	2,4	3,4
Сажа, т	1,64	0,6	0,85
Альдегиды, т	0,33	0,12	0,17
Бензапирен, г	50	18	25,6

Для технологий рекультивации с применением технологического автотранспорта необходимо рассмотреть особенности размещения промежуточных складов ПСП (рис. 1).

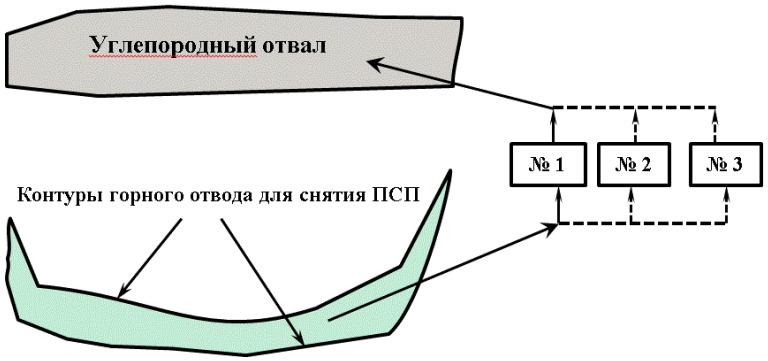


Рис. 1. Схема промежуточного размещения складов ПСП по отношению к углепородному отвалу и контурам горного отвода

На схеме цифрами с 1 по 3 показано расположение промежуточных складов ПСП в тех случаях, когда отсутствуют поверхности углепородных отвалов, пригодные для рекультивации. Фигурой № 1 показано место склада ПСП, совпадающее с трассой техноло-

гической автомобильной дороги, которое идеализировано, и на практике почти не встречается. Фигурами № 2-3 показаны места, удаленные на 1 и 2 км соответственно от трассы автодороги, ведущей из забоя до отвала.

В условиях применения автомобильного транспорта имеют место 2 варианта доставки ПСП на отвалы. Первый вариант предусматривает доставку ПСП непосредственно на отвал для нанесения и разравнивания. В этом случае объем загрязняющих веществ больше по классической технологии на величину объема, образующегося при грубой и чистовой планировке ПСП, а также при проведении биологического этапа.

Объем загрязняющих веществ значительно возрастает в условиях промежуточного размещения склада ПСП на известном расстоянии от трассы дороги. Разместить склад ПСП на трассе движения технологического автотранспорта, как было отмечено выше, практически невозможно, поэтому площадку для размещения склада ПСП выбирают на некотором расстоянии от автодороги. В этих случаях дополнительный объем загрязняющих веществ складывается из следующих составляющих: разравнивание бульдозером поверхности склада в ходе его отсыпки, погрузка экскаватором в автосамосвалы после хранения ПСП во времени, разравнивание бульдозером призабойной поверхности для движения автотранспорта по нижней площадке экскаваторного забоя в контурах склада ПСП.

В целом объем загрязняющих веществ в технологиях с промежуточным складом ПСП выше на 70-80 % в сравнении с аналогичным показателем авторских технологий СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН, предусматривающих прямую транспортировку сформированного почвенного слоя на отвалы.

Итак, в статье представлено экологическое обоснование технологии рекультивации нарушенных земель, совмещенные с производством вскрышных работ, из которого становится вполне понятным то, что объем токсических соединений, образующихся в ходе выполнения работ по авторской технологии (СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН) в разы меньше, чем в классических применяемых технологиях. Представленное в статье сравнение технологий рекультивации земель явилось дополнением к ранее выполненному экологическому и экономическому обоснованию авторской технологии рекультивации нарушенных земель для угольных разрезов Центральной и Восточной Сибири.

УДК 622.882:628.33

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ ЩЕБЕНОЧНЫХ КАРЬЕРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Барадулин И.М., д.т.н. Зеньков И.В.
Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука»,
Красноярский научный центр СО РАН,
г. Красноярск, Россия

Аннотация. В статье изложены результаты дистанционного зондирования растительных экосистем в отработанных щебеночных карьерах. Установлено экологически адекватное формирование растительных и лесных экосистем на склонах западной и юго-западной экспозиций. Результаты наземных полевых экспедиций практически полностью подтверждают результаты исследования с использованием космических снимков высокого разрешения.

Ключевые слова: открытые горные работы, производство щебня, растительные экосистемы, горнопромышленные ландшафты, дистанционное зондирование природных ресурсов.

В Сибирском федеральном округе в районах производства открытых горных работ на месторождениях известняка и гранита, используемых в производстве строительного и

дорожного щебня, существуют экологические проблемы искусственного формирования растительных наземных экосистем в отработанных щебеночных карьерах с показателями, схожими с природными ландшафтами. Этому есть простое объяснение – современные технологии ведения открытых горных работ не ориентированы на создание экологически приемлемых горнопромышленных ландшафтов. В большей степени такие значимые проблемы проявляются в карьерах, в которых поверхности нерабочих бортов, представлены обнажениями скальных и полускальных – «глубинных пород» непригодными для произрастания на них высших сосудистых растений. В меньшей степени это проявляется на откосах и горизонтальных площадках, на которые случайным образом или целенаправленно нанесены слои четвертичных рыхлых горных пород – суглинки, почвенные слои с различным содержанием питательных веществ (гумус, микро-, макроэлементы) супеси и др.

Считается, что отработанные карьерные выемки на территории Центральной и Восточной Сибири довольно длительное время представляют собой безжизненную пустыню, и требуют значительных затрат на их биологическую рекультивацию по окончании горных работ. В этой связи возникают вопросы, требующие экологически грамотных инженерных решений, направленных на проработку конструкций нерабочих бортов, в увязке с их географической ориентаций. В нашей статье мы кратко изложили свою версию ответа на актуальный проблемный вопрос.

Из всех обследованных щебеночных карьеров в центральных районах Красноярского края наиболее полно в плане растительного биоразнообразия и географической ориентации участков нерабочих бортов, по-разному расположенных по отношению к меридиану «север-юг», являются два карьера в районе пгт. Зыково (рис. 1). На территории карьеров № 1 и № 2 расположены элементы нерабочих горных выработок – наклонные поверхности, поставленные в нерабочее положение с различными углами их заоткоски, горизонтальные площадки различной протяженности и различной географической ориентации. На них по-разному формируются растительные экосистемы. В этой связи мы выделяем четыре сектора A, B, C и D (рис. 1). Генеральный уклон этих склонов соответственно юго-восточный, западный и юго-западный, южный и западный.

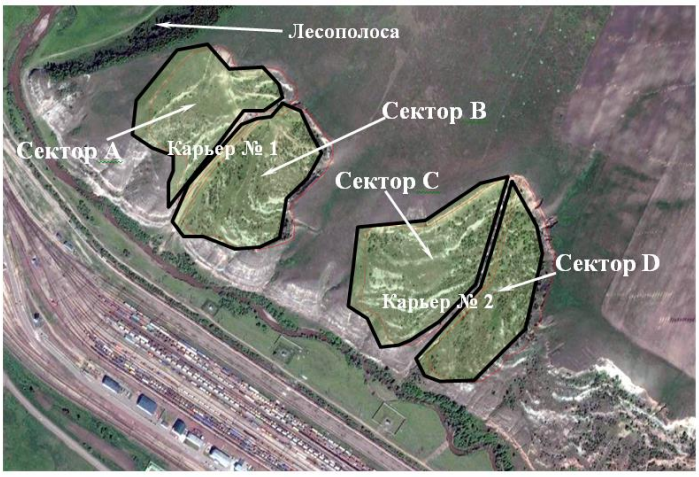


Рис. 1. Компоновочная схема карьеров известняков при строительстве железнодорожного грузового логистического терминала «Красноярск-Восточный»

В ходе полевых экспедиций исследователи обратили внимание на весьма положительное обстоятельство в ситуации формирования растительных экосистем в этих карьерах является – это наличие в направлении северо-запада от карьера № 1 лесополосы в виде смешанного леса: сосна, береза, осина, лиственница. Данный вид деревьев ежегодно производит семенной материал в виде семени, снабженного крылом. Это естественный природный семенной материал, который при ветровом воздействии на шишки (сосна, лиственница), сережки (осина, береза и др.) подхватывается воздушными массами, и семена, снабженные крылом, переносятся на довольно значительное расстояние.

Как известно, формирование растительных экосистем в остаточных горных выработках (нерабочие уступы, породные отвалы) имеет технологически обозначенное начало и временной период их развития. Это является весьма удобным и необходимым обстоятельством с позиции ведения горно-экологического мониторинга при изучении темпов и направленности развития формирующихся молодых экосистем.

Комплексно изучить картину происходящего на отвалах в динамике позволяет горно-экологический мониторинг, включающий использование технологий дистанционного зондирования природных ресурсов с параллельным проведением полевых экспедиций.

Свойства изучаемых природных объектов – экосистем в щебеночных карьерах – могут быть изучены по космическим снимкам в двумерном изображении. Вследствие этого мы рассматриваем снимки объектов с космических летательных аппаратов (КЛА) как некий прообраз действительности. Как правило, они представлены на снимках в уменьшенном виде с потерей деталей, что объясняется техническими условиями съемки и особенностями природных объектов. Чтобы распознавать изображения требуются навыки и знания о том, с какими свойствами объекты отображаются на снимке, а какие отображаются искаженными. Мелкие элементы изучаемого объекта, отображаемые на снимках, должны изучаться в ходе проведения наземных полевых экспедиций. В сезонные периоды календарного года (лето-осень-зима-весна) изображения одного и того же объекта на снимках будут различными вследствие влияния многих факторов. Положительным моментом использования космоснимков является то, что на снимках отображаются объекты невидимые с земли. Кроме того, из-за значительной удаленности орбиты КЛА изображение природных объектов может не соответствовать нашему обычному представлению о них.

Мы не случайно выбрали отработанные щебеночные карьеры в районе пгт. Зыково в качестве объекта исследования, поскольку на их территории появилась возможность провести комплексные полевые экспедиции (2010-2014 гг.). Результаты этих экспедиций использованы в настоящей работе совместно с космическими снимками исследуемой территории, размещенными на следующих официальных сайтах: Global Land Cover Facility (GLCF); United States Geological Survey (USGS). В работе использованы космические снимки со спутников Landsat 4, 5, 7, 8. Определены комбинации каналов для наилучшей визуализации растительного покрова, формирующегося в карьерах: для мультиспектрального сканирующего радиометра TM каналы 6, 4, 3; для мультиспектрального сканирующего радиометра ETM+ каналы 5, 4, 3. Для уменьшения размера выходного изображения (800-1500 Mb) выделена исследуемая область с помощью утилиты Inquire Box и функцией DataPrep › Subset Image. После обработки снимков выполнено визуальное дешифрирование, на изображении найдены исследуемые объекты. Для выделения растительного покрова отвалов на снимке использована программа ArcMap 10.1. После этого рассчитана площадь выделенных объектов и выявлена динамика развития и структуры растительного покрова с 1989 г. по 2013 г. (рис. 2-4).

Суммарная площадь остаточных горных выработок (откосы уступов, горизонтальные или наклонные нерабочие площадки с углами 2-5°) в секторах A, B, C и D, составляет 39000; 69000; 52000 и 39000 м^2 соответственно. В 1989 г. горные работы на исследуемой площади вышли на проектные контуры и затем получили свое развитие за счет вертикального их понижения. К 1991 году площадь горных выработок в нерабочем положении, не покрытых растительностью в секторах A, B, C и D начинает увеличиваться, а вместе с этим начинает сокращаться площадь формирующихся молодых экосистем, что связано с возобновлением горных работ. Далее до 1999 г. горные работы в секторах B, C и D не производятся и поэтому площадь растительной экосистемы начинает увеличиваться. Затем в 2000-2002 гг. Красноярская железная дорога начинает производство горных работ в секторах C и D, что отражено на графиках сокращением площади растительного покрова. На август 2013 г. площади участков секторов, в которых сформировались молодые экосистемы имеют следующие размеры 25000; 58000; 26000 и 38000 м^2 соответственно.

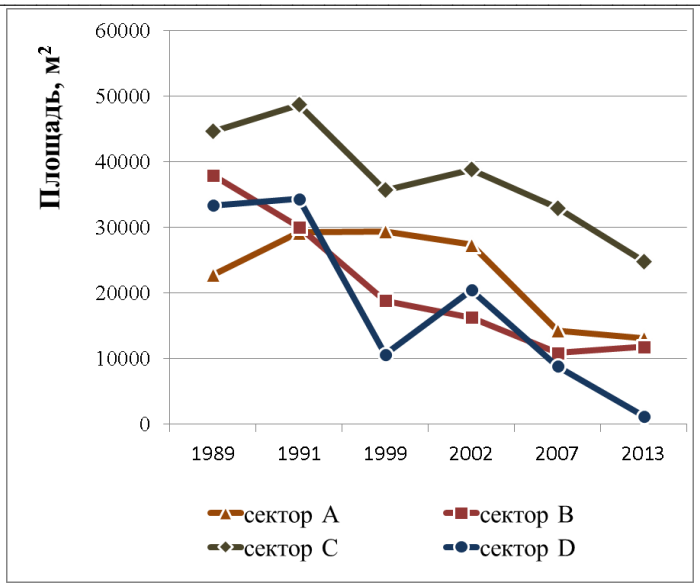


Рис. 2. Изменение площади открытых поверхностей без растительности

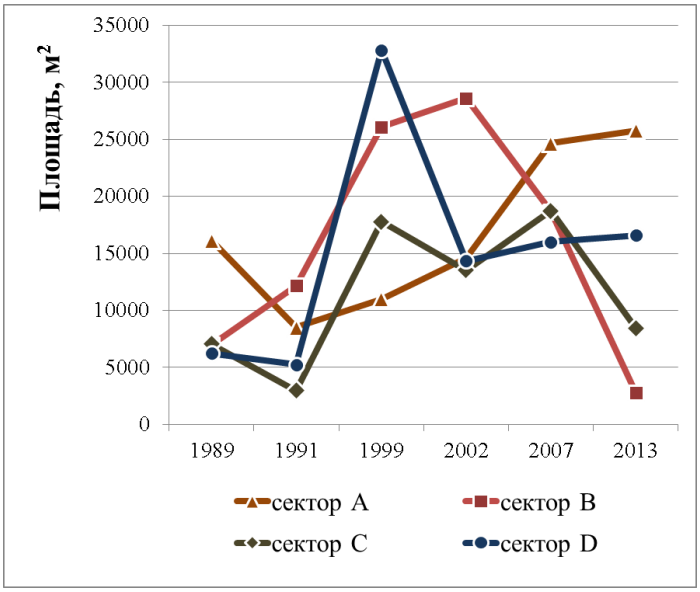


Рис. 3. Изменение площади участков под травянистой растительностью

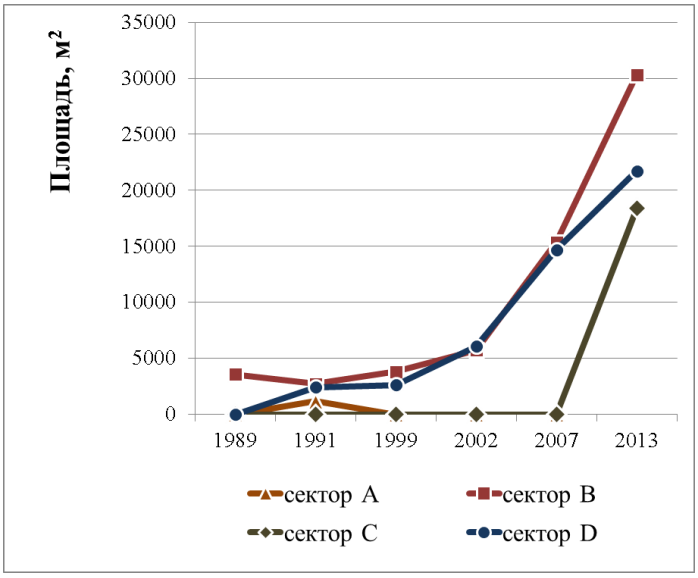


Рис. 4. Изменение площади участков под лесной растительностью

Вполне закономерным в формировании молодых растительных экосистем в отработанных щебеночных карьерах является то, что их ускоренное или запоздалое появление оговаривается различием природно-техногенных факторов. Так, например, на поверхностный слой откосов и площадок нерабочего борта могут намываться четвертичные породы с верхних уступов, или участки нерабочих бортов по-разному могут быть ориентированы в меридионально-широтном. Поэтому необходим поиск эталонных (индикаторных) участков нерабочих бортов, на которых отмечены наиболее приемлемые условия для появления пионерных экосистем и их дальнейшего развития.

В июле-августе 2014 г. завершение полевых работ по исследованию наземных растительных экосистем в отработанных карьерах принесло следующие научно-практические результаты. Предварительная визуальная оценка установила то, что нерабочие борта карьеров заселены растительностью по-разному. После инструментальной детализации были установлены: географическая ориентация склонов в увязке с их протяженностью. Результаты геодезических измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика нерабочих бортов карьеров № 1 и № 2

Сектор	Протяженность, м	Ориентация север-юг-запад-восток	Геометрическая форма склона	Площадь экосистемы, $м^2$
A	85	юг	наклонные поверхности	320
	80; 120; 115	юго-восток	откосы уступов	1180
B	2×50	юг	техногенные террасы	2000
	3×110	запад	техногенные террасы	4700
C	4×75	юг	откосы уступов	980
	5×60	юго-восток	откосы уступов	1150
	4×100	восток	откосы уступов	1360
D	1×30, 2×60	юг	откосы уступов	810
	2×70, 4×100	запад	наклонные поверхности	6900

Таким образом, в ходе дистанционного исследования горнопромышленного ландшафта посредством обработки космических снимков, полученных с КЛА, а также в ходе проведения полевых экспедиций установлена следующая закономерность формирования наземных растительных экосистем в отработанных щебеночных карьерах – ускоренное появление, приемлемые темпы развития растительных экосистем, наибольшая концентрация деревьев наблюдается на нерабочих бортах карьеров западной и юго-западной экспозиции. Выявленные закономерности необходимо учитывать при проектировании технологий ведения открытых горных работ в производстве строительного и дорожного щебня, а также при обосновании порядка отработки гранитных и известняковых месторождений с учетом экологических целей.

УДК 622.882:628.33

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ РАЗРУШЕНИИ РЕЛЬЕФА УГЛЕПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ

к.т.н. Нефедов Б.Н., д.т.н. Зеньков И.В.
Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука»,
Красноярский научный центр СО РАН,
г. Красноярск, Россия

Аннотация. На территории угледобывающих регионов Сибири, начиная с 1950-х гг., масштабно отсыпаются углепородные отвалы при добыче угля открытым способом. В ходе много-

летних полевых экспедиций установлено разрушение породных отвалов под влиянием водной эрозии, что приводит к образованию многочисленных оврагов. На этапе отсыпки вскрышных пород в тело отвалов укладываются углесодержащие породы, которые при их выносе водными потоками начинают самовозгораться. Выявлены секторы на поверхности породных отвалов угольных разрезов Канско-Ачинского угольного бассейна, в которых наиболее масштабно проявляется воздействие водной эрозии на формирование рельефа рекультивированных горнопромышленных ландшафтов.

Ключевые слова: добыча угля открытым способом, породные отвалы, горнопромышленные ландшафты, формирование оврагов.

В угледобывающих регионах Центральной и Восточной Сибири формируется новый тип техногенных ландшафтов – горнопромышленные ландшафты в виде рекультивированных породных отвалов. Результаты полевых экспедиций по изучению состояния последних в районах с масштабной добычей угля открытым способом указали на снижение качественных и количественных характеристик рекультивированного почвенного слоя относительно природных ландшафтов, потери плодородных почвенных слоев при добыче угля открытым способом находятся на уровне 85-90 % и др. К настоящему времени горизонтальные поверхности породных отвалов, рекультивированных под пашню, деформированы усадочными процессами, произошедшими в теле отвалов. Кроме того, выявлены обстоятельства и многочисленные факты разрушения целостности рельефа породных отвалов образующимися оврагами. Оврагообразование сопровождается постоянным изменением морфологического состава пород, участвующих в формировании рельефа горнопромышленных ландшафтов. Как это ни парадоксально, но наиболее масштабно процесс оврагообразования проявляется на породных отвалах с идеально спланированной горизонтальной поверхностью.

Породные отвалы, отсыпанные при разработке месторождений Канско-Ачинского угольного бассейна (рис. 1), вскрышная толща которых сложена рыхлыми горными породами, разрабатываемыми без применения буровзрывных работ, наиболее подвержены воздействию водной эрозии. Морфологический состав породных отвалов угольных разрезов Канско-Ачинского бассейна представляет собой техногенную смесь из вскрышных пород (суглинки, супеси, глины, почвенные слои, углистые аргиллиты, уголь при зачистке пластов, песчаники и т.п.). Большой удельный вес четвертичных (мягких) отложений (75-85 %) в структуре пород отвала, интенсивное таяние снежного покрова на поверхности отвала, летние затяжные ливневые дожди способствуют интенсивному разрушению целостности рельефа отвалов под влиянием водной эрозии. В результате экологическое равновесие формирующееся на рекультивированных отвалах, нарушается.

На разрезе «Березовский» породные отвалы отсыпают с 1974 г. Пионерные внешние отвалы имеют устойчивый рельеф. К настоящему времени в секторе производства горных работ в выработанном пространстве разреза размещен внутренний породный отвал, который разрушается водными потоками (центральный сектор рис. 1а). Водная эрозия формирует поверхность породного отвала в виде многочисленных водопропускных канав сечением от 1,0 до 3,5 м^2. Комбинация канав имеет в плане вид сетки. Поскольку воздействие эрозии постоянное во времени, то и растительность в этом секторе полностью отсутствует. Также на территории внутренних отвалов имеются одиночные промоины на откосах. Всего на территории разреза имеется 151 канава и 17 мелких оврагов.

На разрезе «Назаровский» породные отвалы отсыпают с 1950 г. В настоящее время добыча угля производится на двух участках угольного месторождения, которые в перспективе должны сомкнуться в один карьер. На месте отработанного угольного пласта также размещают внутренние отвалы вскрышных пород. На отработанной части месторождения сформирован горнопромышленный ландшафт, состоящий из следующих элементов рельефа. Нерабочий борт карьера засыпан инертной подушкой из вскрышных по-

род с углом откоса до 30°. Откосы внутренних отвалов сочленяются в плане с откосом насыпи над угольным пластом. В результате образуется локальное понижение рельефа, в котором скапливаются талые и дождевые воды. Последние представляют собой концетрированные водные потоки, размывающие откосы техногенного рельефа (рис. 1б). В этой части горизонтальные поверхности внутренних отвалов спланированы на разных высотных отметках, поэтому искусственно формируются значительные водосборные площади, с которых талые и дождевые водотоки переливается с более высоких плато на менее низкие. Всего на территории горнопромышленного ландшафта, созданного в период с 1970 по 1995 гг., действует 21 овраг, формирующий вторичный рельеф, и более 100 водопропускных мелких канав, принимающие участие в трансформации рельефа.

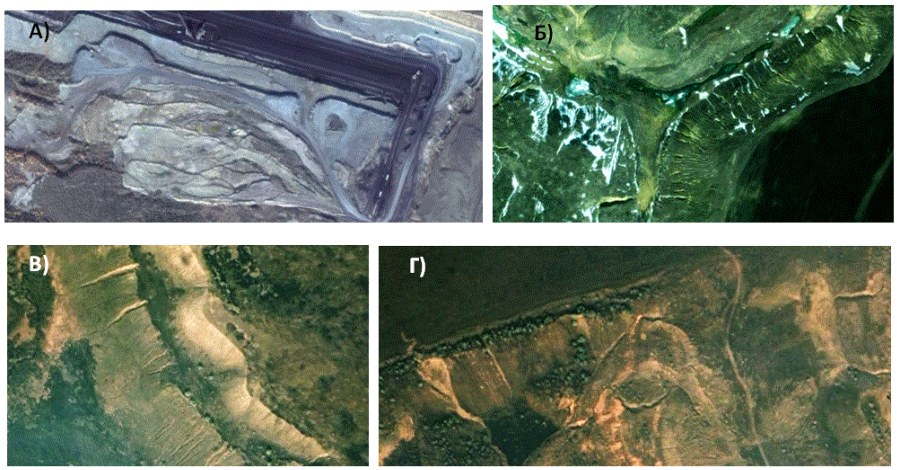


Рис. 1. Горнопромышленные ландшафты на породных отвалах угольных разрезов, формируемые при воздействии водной эрозии: а) внутренний отвал разреза «Березовский», б) внутренние отвалы разреза «Назаровский», в) внешний отвал «Северный» разреза «Бородинский», г) внешний отвал «Западный» разреза «Бородинский»

На разрезе «Бородинский» породные отвалы отсыпают с 1950 года, на которых широко распространены начальные эрозионные формы в виде промоин (рытвин), приуроченные к откосам незадернованных склонов отвалов. В плане такие формы имеют линейную форму на откосах и извилистую форму – на поверхности отвалов (рис. 1 в, г). Генеральный продольный профиль их соответствует направлению и форме склона, на котором они развиты. Всего на откосах и поверхности отвалов насчитывается 34 промоины, самые крупные из которых дали начало активному формированию локальных овражно-балочных систем.

На протяжении ряда лет (с 2000 г.) на разрезе «Бородинский» систематически отслеживалось формирование двух наиболее крупных оврагов – на внутреннем отвале в выработанном пространстве разреза и на внешнем отвале «Западный» (рис. 1, г (левый сектор), 2).

По состоянию на 30.11.2013 г. архитектура оврага выглядит следующим образом (рис. 2). Его глубина составляет 53 м, длина 150 м. Створ (поперечное сечение) меняется на всем его протяжении. Участок АВ расположен в теле отвала, его начало расположено на расстоянии 30 м от откоса отвала. На этом участке водные потоки сливаются вниз по стенкам оврага и затем, вымывая грунт отвала, движутся вниз по участку ВС. Этот участок имеет более крутые углы откосов. На нем водным потоком происходит вертикальное прорезание дна оврага и вымывание грунта. На участках CD, DE по водосбросной траншее вымытый грунт перемещается далее на природный ландшафт и в природные водоемы.

Геометрические параметры оврага на внешнем отвале «Западный» разреза «Бородинский» представлены в табл. 1.

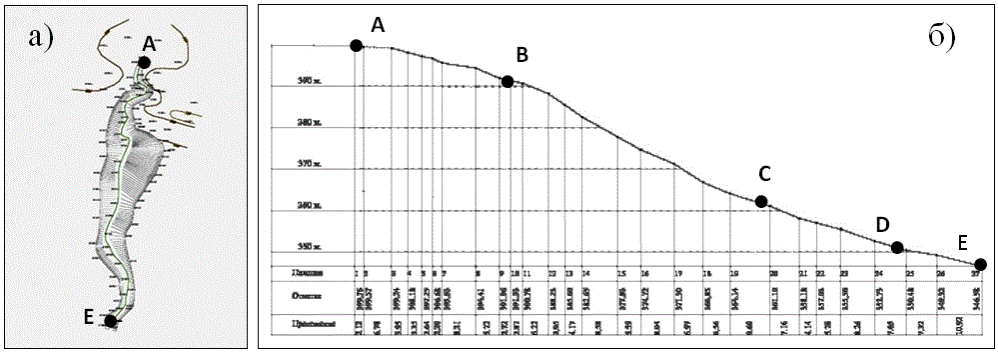


Рис. 2. План (а) и продольный профиль (б) оврага на южном склоне внешнего отвала «Западный» (разрез «Бородинский»)

Таблица 1

Характеристики оврага на отвале «Западный»

Участок профиля	Перепад высот, м	Длина горизонтальной проекции участка, м	Угол участка дна оврага, град	Форма сочленения откосов
A-B	10	40	13-14	щелевая
B-C	25	50	26-27	трапециевидная
C-D	12	32	19-21	траншейная
D-E	5,5	26	11-12	траншейная

На протяжении 2000-2013 гг. на породных отвалах разреза «Бородинский» проводился экологический мониторинг загрязнения воздушного бассейна газами, образующимися в результате свободного горения на атмосферном воздухе углесодержащих пород, вынесенных водотоками из тела породного отвала. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Объемы загрязняющих веществ попадающих в атмосферу при горении углесодержащих пород при их выносе из породных отвалов (разрез «Бородинский»)

Год	Количество оврагов	M_{CO}, т/год	M_{SO_2}, т/год	M_{H_2S}, т/год	M_{NO_x}, т/год	$M_{C_{20}H_{12}}$, кг/год
2000	19	81,1	1,04	2,07	0,0038	6,18
2005	35	366,6	4,68	9,36	0,0173	27,92
2008	37	599,3	7,65	15,31	0,0282	45,65
2010	38	726,2	9,27	18,54	0,0342	55,31
2013	40	909,5	11,61	23,22	0,0428	69,27

Результаты наших исследований на породных отвалах разреза «Бородинский» отражают экологическую картину на подобных угольных предприятиях с вероятностью 92-95 %, поскольку все без исключения технологии ведения горных работ на разрезах «Березовский», «Назаровский», «Переясловский» предусматривают зачистку кровли угольного пласта, и в дальнейшем смесь угля с покрывающими угольный пласт вскрышными породами размещается в теле породного отвала. С вероятностью 92-95 % можно рассмотреть адекватное загрязнение воздуха горящим углем. По нашей оценке в результате водной эрозии на породных отвалах трех разрезов, как ее следствие в атмосферный воздух попадает в течение календарного года оксида углерода, оксида серы, сероводорода, оксидов азота, бензапирена 3150 т, 35-36 т, 66-68 т, 0,12-0,14 т и 230 кг соответственно.

Итак, современное состояние горнопромышленных ландшафтов в виде рекультивированных углепородных отвалов оцениваем как экологически не благополучное, поскольку установлено, что целостность рельефа отвалов систематически разрушается под

влиянием водной эрозии, сокращаются площади рекультивированных породных отвалов, на которых с течением времени начинают свое формирование молодые экосистемы. Также сокращаются площади природных ландшафтов, находящихся в зоне выноса горных пород, перемещенных водными потоками из тела породного отвала. Кроме того, происходит систематическая эмиссия вредных отравляющих газов, образующихся при горении углесодержащих пород. В этой связи необходимы конструктивные инженерные решения в области разработке технологий формирования и рекультивации углепородных отвалов, представляющих во времени устойчивые наземные экосистемы, устойчивые к их разрушению воздействием природных факторов, таких как проявление водной эрозии.

УДК 622.882:628.33

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОБСЛЕДОВАНИИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ НА УГОЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ «ПЕРЕЯСЛОВСКИЙ»

[1]Школьный И.А., [1]к.т.н. Юронен Ю.П. ,[2]к.т.н. Нефедов Б.Н., [2]д.т.н. Зеньков И.В.
1 - Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнёва», г. Красноярск, Россия
2 - Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука», Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования динамики восстановления растительных экосистем на территории внутренних породных отвалов на территории отработанной части Переясловского буроугольного месторождения. Представлены результаты дешифрирования и обработки космических снимков, по которым установлена динамика появления и формирования локальных растительных экосистем в горном отводе угольного разреза «Переясловский».

Ключевые слова: открытые горные работы, породные отвалы, геоэкологическое обследование, рекультивация земель, почвенные характеристики, растительные экосистемы, дистанционное зондирование Земли.

С 1978 по 2015 гг. на территории Переясловского буроугольного месторождения производится добыча угля открытым способом, в результате чего земли под лесом и обрабатываемые сельскохозяйственные угодья подвергаются техногенным преобразованиям. К настоящему времени общая площадь горнопромышленных ландшафтов (карьерная выемка Г-образной формы, внутренние породные отвалы) по нашей оценке составляет 652,7 га. В результате отработки угольных пластов средней мощностью 9-12 м сформировано выработанное пространство глубиной 45-50 м, которое вслед за отработкой угля заполняют вскрышными породами.

В последнее десятилетие перевалку вскрышных пород в выработанное пространство производят драглайнами ЭШ-10(11)/70; ЭШ-15/90 с последующей частичной переэкскавацией. Как показал осмотр поверхности отвалов, их площадь частично спланирована бульдозером, но в основном представлена складками средних размеров. На отвалах не проводится чистовая планировка их поверхности бульдозером и грейдером, поэтому рельеф в итоге формируется в виде мелких и крупных складок. Плодородный слой почвы (ПСП) в расширяющихся контурах горного отвода снимают либо бульдозером (западный и южный борт карьера), либо шагающим экскаватором (северный борт).

За весь период работы угольного разреза по нашей оценке было переработано 2,95 млн. м^3 ПСП при средней его мощности 0,45 м.

Привлекательность для научно-практического обследования отработанной части этого месторождения объясняется тем, что в горном отводе сформирован горнопромышленный ландшафт в виде породных отвалов без проведения на них работ по рекультивации земель. Период отсыпки отвалов в горном отводе меняется каждый год: в результате появляются разновозрастные отвалы от одного года до 25 лет. Скудный ассортимент локального фитоценоза, произрастающего на этом участке, сложный микрорельеф поверхности отвала, неизученный агрохимический состав поверхностного слоя отвалов, отсыпанного из смеси четвертичных отложений практически без остатков почвенных слоев, глубинных горных пород без нанесения почвенного рекультивационного слоя – все это явилось основой для проведения комплексных исследований, конечная цель которых дать научно обоснованный ответ на вопрос, способствует ли порядок отработки месторождения и геометрические параметры горнопромышленного ландшафта ускоренному появлению и формированию растительных экосистем без проведения работ горнотехнического и биологического этапов?

Ответ на этот вопрос был получен в результате полевых экспедиций и обработки космических снимков за период 1982-2014 гг. и кратко представлен в настоящей статье. Полевые работы по обследованию внутренних отвалов проводились в несколько этапов.

На первом – предварительном – этапе размечены контуры исследуемой поверхности отвала (июль-август 2014 г.). Согласно основным положениям по планированию статистических выборочных наблюдений составлена малая 10 %-я выборка. В нее вошли 24 почвенных участка суммарной площадью 4,8 га.

На втором этапе проводили комплекс полевых работ. На выделенных почвенных участках, вошедших в выборку, прокладывали маршрутные ходы, вдоль которых по известным методикам по отраслевым рекомендациям составляли объединенные почвенные пробы.

В отобранных почвенных образцах выявляли концентрацию тяжелых металлов-токсикантов. Основные показатели представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели почв обследованных участков внутренних отвалов

Наименование показателя	Уровень показателя			
	сектор А	сектор Б	сектор В	сектор Г
Содержание гумуса, %	1,7	2,6	3,1	2,7
Содержание ионообменного калия, мг/кг	84,1	72,3	69,3	57,3
Содержание подвижного фосфора, мг/кг	51,2	54,3	67,9	70,3
Содержание физической глины, %	12,6	15,1	16,1	21,3
Нитратный азот, мг/кг	5,0	6,3	6,4	6,2
Содержание *Zn*, мг/кг	49,1	52,1	54,3	51,2
Содержание *Pb*, мг/кг	10,9	11,6	9,8	10,4
Содержание *Cd*, мг/кг	0,16	0,15	0,17	0,16
Содержание *Hg*, мг/кг	0,014	0,016	0,17	0,11
Содержание *F*, мг/кг	1,82	1,47	2,12	1,77
Содержание *As*, мг/кг	1,4	1,3	1,4	1,5

Анализ основных агрохимических показателей свидетельствует о снижении уровня содержания гумуса в 4-7 раз относительно показателей почв в естественно природном состоянии. Содержание калия и фосфора изменяется в диапазоне от 57,3 до 84,1 и от 51,2 до 70,3 мг/кг соответственно. Содержание физической глины в диапазоне от 12,6 до 21,3 % говорит о том, что обследованные участки отвалов отсыпаны достаточно однородными горными породами в основном супесями, суглинками, песками. Смесь почвенных слоев, оставшихся после их снятия на поверхности верхнего вскрышного уступа на поверхности отвалов, практически не встречается. Концентрация тяжелых металлов-токсикантов зна-

чительно ниже ПДК, кроме фтора, уровень содержания которого меньше ПДК, но в отдельных случаях достигает 70 % уровня предельно допустимой концентрации.

Поскольку территория разработки месторождения представлена в основном сельскохозяйственными угодьями, то и рекультивация нарушенных земель должна производиться с учетом существующей структуры нарушаемых земель. Рельеф породных отвалов согласно ГОСТу 17.5.3.04-83 после планировки рекультивируемых породных отвалов для сельскохозяйственного использования должен обеспечивать эффективное использование сельскохозяйственной техники. После планировки поверхность отвала не должна содержать локальных понижений рельефа размером 1×1 м глубиной более 0,1 м. Несмотря на эти жесткие требования, поверхность внутренних отвалов сформирована с полным игнорированием требований ГОСТ. В контурах горного отвода поверхность внутреннего отвала представляет собой комбинацию гребней со множеством локальных понижений. Углы наклона гребней находятся в диапазоне $28\text{-}35^0$, причем последние географически ориентированы преимущественно в меридиональном направлении. Исследование рельефа проводилось с целью определения условий, способствующих появлению и ускоренному формированию локальных растительных экосистем.

На рис. 1 для наглядности показаны контуры горных работ по состоянию на 1982 и 2014 г., а также контуры леса в естественном состоянии и обрабатываемой пашни на 4-й год отработки месторождения.

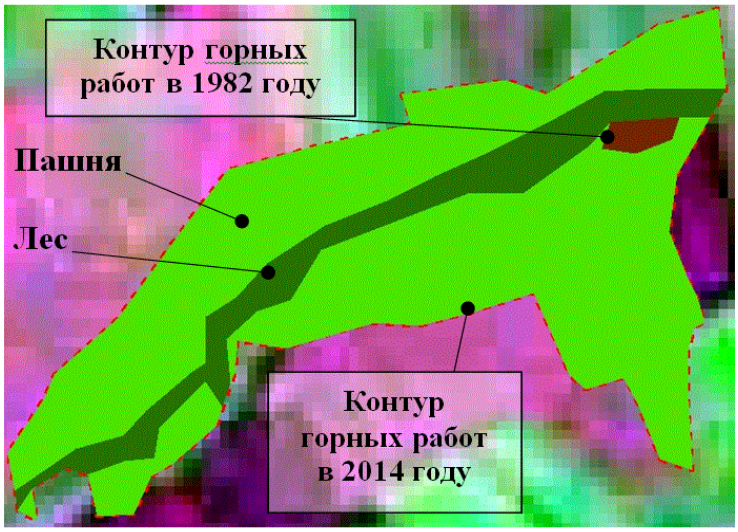


Рис. 1. Фрагмент космического снимка 1982 г. с нанесенными контурами горных работ, леса и пахотных земель

Вполне естественным является то, что после начала производства открытых горных работ на месторождении структура ландшафта начала трансформироваться не в лучшую сторону, поскольку разработка месторождения с 1978 года по 2001 г. производилась не по классическим схемам отработки горизонтальных месторождений, а по принципу добыть больше угля с минимальным коэффициентом вскрыши. Подобный подход, как показал многолетний опыт ведения горных работ на этом месторождении весьма и весьма не способствовал формированию отвального хозяйства, пригодного для производства работ по направлению рекультивации, адекватного для этого района разработки месторождения. Динамика структуры земель на территории отработанного участка месторождения представлена на рис. 2. В контурах горного отвода по состоянию на 2014 г. в 1982 году находилось 100,6 га естественного леса и 543 га пахотных земель. Как видно на графике, темпы горных работ были менее интенсивными с 1982 по 1999 гг. и в среднем составляли 4,15 га/год. В этот период площадь леса увеличилась со 100,6 га до 150,3 га, что связано с прекращением обработки пашни и заселением ее березняком.

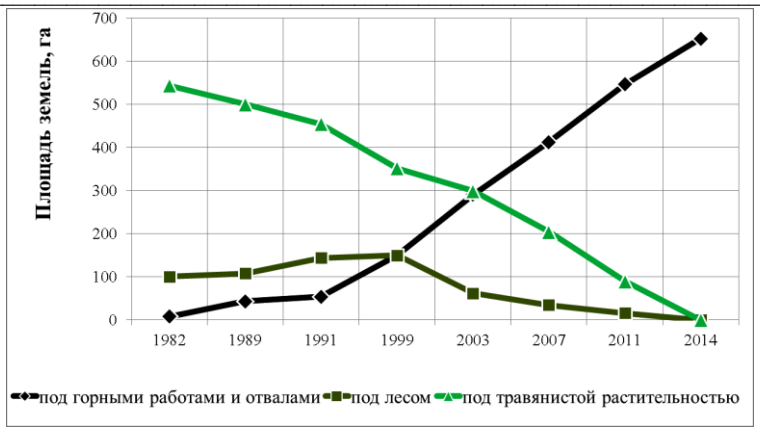


Рис. 2. Изменение структуры земель на отработанной части Переясловского буроугольного месторождения

Далее с 1999 года площадь леса начала сокращаться ежегодно в среднем на 10 га. Ежегодный темп сокращения площади пашни в период с 1982 г. составил 15 га вплоть до 2014 г. за счет частичного ухода ее под лес и в основном за счет развития горных работ. Промежуточный космоснимок по состоянию на июль 1999 г. представлен на рис. 3.

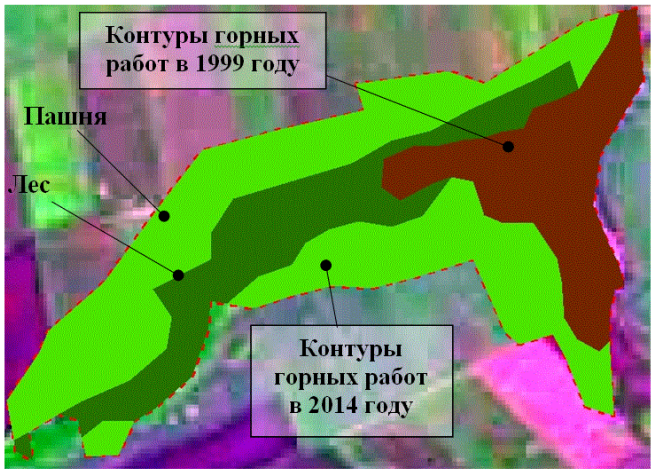


Рис. 3. Фрагмент космического снимка в 1999 г. с контурами горных работ, леса и пахотных земель

Для понимания того, каким образом и на какой площади формируется растительная экосистема в контурах горных работ, отдельным блоком выполнен мониторинг, результаты которого представлены на рис. 4.

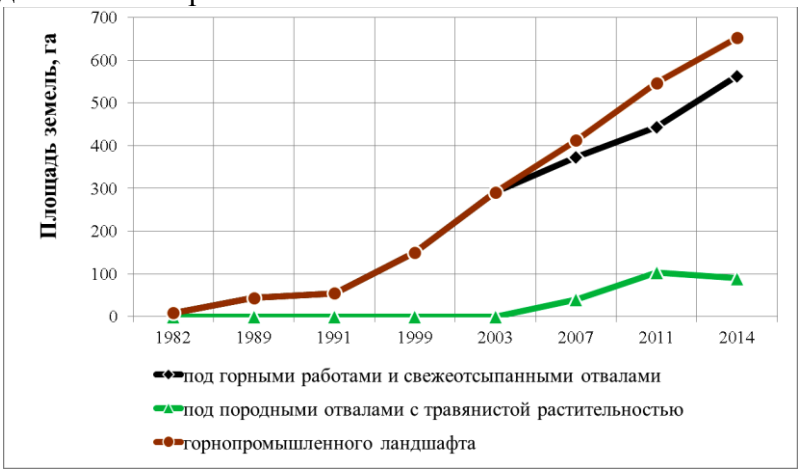


Рис. 4. Изменение площади формируемой растительной экосистемы в контурах горных работ при отработке Переясловского буроугольного месторождения

В контурах горного отвода по состоянию на 2014 г. находится 89,6 га молодой растительной экосистемы. Как видно на графике темпы ее восстановления составили с 2003 г. по 2011 г. 12,9 га/год. К 2011 году площадь породных отвалов под растительностью составила 103 га, но в последующем уменьшилась до 89,6 га, что объясняется производством горных работ на площади в 14 га. Контуры молодых (очаговых) экосистем показаны на космоснимке (рис. 5).

Рис. 5. Фрагмент космического снимка в 2014 г. с контурами горных работ и формирующейся растительной экосистемы

Итоговые результаты изменения структуры нарушаемых земель в ходе открытой добычи угля на Переясловском месторождении представлены графически на рис. 7.

Рис. 6. Изменение площади земель, нарушенных горными работами с учетом формируемой экосистемы на породных отвалах

Несмотря на старания угольного разреза, лесная рекультивация на породных отвалах прошла малоэффективно, поскольку на снимках большого разрешения молодые сосны не просматриваются в отличие от разреза «Бородинский», на отвалах которого просматриваются четкие ряды сосен 7-12 летнего возраста. Позитивным мы считаем то, что на отвалах происходит самозарастание, но его темпы не считаем экологически приемлемыми.

Итак, результаты полевых экспедиций, обработки космических снимков, выполненных с КЛА в период с 1982 по 2014 гг., позволяют сделать следующие выводы: достоверно доказано, что существующий порядок отработки месторождения не позволяет эффективно заниматься собственникам разреза рекультивацией горнопромышленных ландшафтов, к тому же, всего лишь на 13,8 % площади отработанной части месторождения появилась растительная экосистема. Такая ситуация, на наш взгляд, далека от экологически оптимальной, поскольку месторождение разрабатывается 37 лет и при внутреннем отвалообразовании площадь породных отвалов под растительностью и под естественным заселением их лесом должна составлять как минимум 55-65 %.

Работа выполнялась в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг. и планом научно-исследовательских работ СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН на 2013-2017 года, согласно проекту «Модели и технологии информационного обеспечения для оценки состояния, прогнозирования и управления экологическими системами, территориальными комплексами и природно-техногенной безопасностью регионов».

УДК 622.882:628.33

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТВАЛОВ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД НА УГОЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ «БОРОДИНСКИЙ»

[1]д.т.н. Щадов И.М., [2]к.т.н. Нефедов Б.Н., [2]д.т.н. Зеньков И.В.
1 - Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск, Россия
2 - Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука», Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования экологических показателей поверхностного слоя внутреннего породного отвала на территории отработанной части Ирша-Бородинского буроугольного месторождения. Представлены результаты обследования рельефа отвала и фитокаркас, формирующейся на нем локальной растительной экосистемы на территории отработанной части Ирша-Бородинского буроугольного месторождения.

Ключевые слова: открытые горные работы, породные отвалы, экологическое обследование, рекультивация земель, почвенные характеристики, растительные экосистемы.

В период с 1949 по 2014 гг. на Ирша-Бородинском буроугольном месторождении при его разработке проведены значительные по площади техногенные преобразования земной поверхности. К настоящему времени общая площадь горнопромышленных ландшафтов (карьерная выемка, породные отвалы) по нашей оценке составляет 33 км^2. В результате отработки угольных пластов сформировано выработанное пространство глубиной до 100 м, которое частично заполнено вскрышными породами. В последнее десятилетие верхние ярусы внутреннего отвала отсыпают с применением карьерных экскаваторов ЭКГ-10 без их рекультивации, что оговаривает отказ от нанесения на их поверхность почвенного слоя. На отвалах не проводится чистовая планировка их поверхности бульдозером и грейдером, поэтому рельеф в итоге формируется в виде мелких и крупных складок (рис. 1).

Рис. 1. Фрагмент космического снимка внутренних отвалов с нанесением контуров обследованных участков

Привлекательность для научно-практического обследования именно этого участка внутренних отвалов объясняется тем, что рельеф отвала имеет форму бесконечной гофры, на его поверхность почвенный слой не нанесен, растительная экосистема представлена весьма узким рядом травянисто-кустарниковой растительности. Период отсыпки отвала меняется каждый год и составляет от 1 до 10 лет. Узкий ассортимент локального фитоценоза, произрастающего на этом участке, сложный микрорельеф поверхности отвала, неизученный агрохимический состав поверхностного слоя отвалов, отсыпанного из смеси четвертичных отложений и остатков почвенных слоев, глубинных горных пород без нанесения почвенного рекультивационного слоя – все это явилось основой для проведения комплексных исследований, конечная цель которых дать научно обоснованный ответ на вопрос, можно ли рекомендовать горным предприятиям формирование горнопромышленных ландшафтов со схожими геоэкологическими показателями?

Полевые работы по обследованию участка внутреннего отвала проводились в несколько этапов. Агроэкологическое обследование поверхностного слоя отвала на площади 59 га проводилось традиционно с привлечением специалистов и соответствующего лабораторного оборудования ФГУ «Станция агрохимической службы «Солянская» (Рыбинский р-н Красноярского края). Станция аккредитована Госстандартом РФ.

На первом – предварительном – этапе размечены контуры исследуемой поверхности отвала (июль-август 2014 г.). Согласно основным положениям по планированию статистических выборочных наблюдений составлена малая 10 %-я выборка. В нее вошли 32 почвенных участка суммарной площадью 6 га.

На втором этапе проводили комплекс полевых работ. На выделенных почвенных участках, вошедших в выборку, прокладывали маршрутные ходы, вдоль которых по известным методикам по отраслевым рекомендациям составляли объединенные почвенные пробы. Объединенная проба составляется из 30 точечных проб и отбирается с каждого гектара поверхности отвала согласно ГОСТу 28168-89 и ГОСТу 17.4.4.02-84. Для выявления общей картины нанесенного почвенного слоя сделаны прикопы, вертикальные сечения которых представлены на рис. 2.

Рис. 2. Фрагменты вертикальных сечений поверхностного слоя внутренних отвалов:
а) в секторе В; б) в секторе А.

На третьем этапе, в ходе лабораторных исследований, агрохимические показатели почв: органическое вещество (гумус), подвижные соединения фосфора и калия, емкость катионного обмена, валовые фосфор и калий, нитратный азот, аммонийный азот, общий азот, *pH* (*KCl*), определялись в соответствии с ГОСТами 26213-91, 26204-91, 26205-91, 17.4.4.01-84, 26261-84, 26488-85, 26489-85, 26107-84, 26483-85. В отобранных почвенных образцах выявляли концентрацию тяжелых металлов-токсикантов. Основные показатели представлены в табл. 1.

Анализ основных агрохимических показателей свидетельствует о снижении уровня содержания гумуса в 2,5-4 раза относительно показателей почв в естественно природном состоянии. Содержание калия и фосфора изменяется в широком диапазоне от 59,9 до 135 и от 49,4 до 216,7 мг/кг соответственно. Содержание физической глины в диапазоне от

12,3 до 30,6% говорит о том, что участки отсыпаны разными горными породами – супесями, суглинками, смесью почвенных слоев, оставшихся после их снятия на поверхности верхнего вскрышного уступа. Концентрация тяжелых металлов-токсикантов значительно ниже ПДК (в 6-260 раз), кроме фтора, уровень содержания которого меньше ПДК, но в отдельных случаях достигает 70 % уровня предельно допустимой концентрации.

Таблица 1

Показатели почв обследованных участков внутренних отвалов

Наименование показателя	Уровень показателя			
	сектор А	сектор Б	сектор В	сектор Г
Содержание гумуса, %	1,4	8,6	2,8	3,3
Содержание ионообменного калия, мг/кг	135,1	74,6	67,7	59,9
Содержание подвижного фосфора, мг/кг	49,4	56,7	216,7	68,8
Содержание физической глины, %	19,9	30,6	12,3	22,8
Нитратный азот, мг/кг	4,3	6,9	5,2	6,3
Содержание *Zn*, мг/кг	48,4	53,8	56,1	45,1
Содержание *Pb*, мг/кг	11,1	12,0	12,1	8,32
Содержание *Cd*, мг/кг	0,1	0,13	0,13	0,1
Содержание *Hg*, мг/кг	0,012	0,017	0,008	0,009
Содержание *F*, мг/кг	2,08	1,37	1,69	0,99
Содержание *As*, мг/кг	2,5	1,5	1,5	1,5

Рельеф породных отвалов согласно ГОСТу 17.5.3.04-83 после планировки рекультивируемых земельных угодий для сельскохозяйственного использования должен обеспечивать эффективное использование сельскохозяйственной техники. После планировки поверхность отвала не должна содержать локальных понижений размером 1×1 м глубиной более 0,1 м. Несмотря на эти жесткие требования, вся прелесть этого участка для научно-практических исследований заключается в том, что его поверхность сформирована с точностью наоборот, и с полным игнорированием требований ГОСТ. Предварительный визуальный осмотр поверхности отвала выявил наличие множества локальных понижений. Углы наклона поверхности локальных участков находятся в диапазоне от 2-3 до 25-35°, причем последние географически ориентированы примерно в равной степени как в северном, так и в южном направлении. Исследование рельефа проводилось с целью определения условий, способствующих появлению и ускоренному формированию локальных растительных экосистем.

При проведении полевых исследований растительного мира на поверхности отвала выявлены особенности локального фитоценоза. В первую очередь необходимо было вычленить из всего видового разнообразия каркас фитоценоза. Его составляющие следующие: из травянистых растений преобладают пырей ползучий (*elytrigia repens*), хвощ полевой (*equisetum arvense*), полынь обыкновенная (*artemisia vulgaris*), осот (*sonchus*), пижма обыкновенная (tanacetum vulgare) и из древесно-кустарниковых – тополь черный (*populus nigra*), облепиха крушиновидная (*hippophae rhamnoides*).

Распространение хвоща приурочено, в основном, к нижней части складок рельефа, причем хвощ встречается как на старых участках (7-10 лет), так и на молодых отвалах, отсыпанных 2-3 года назад. Осот произрастает семействами от 2-3 до 30-40 ед. и селится в основном на участках с содержанием гумуса 3-5%. Пырей ползучий образует густопереплетенные стеблевые и корневищные заросли также на участках, отсыпанных преимущественно четвертичными отложениями. Полынь обыкновенная селится отдельными полянами площадью от 0,5 до 2-3 м^2, а также произрастает в сочетании со всеми видами пионерного фитоценоза. Было обнаружено и то, что на отвале произрастают лекарственные травы отдельными особями: тысячелистник, щавель конский и т. п. Облепиха встречается

чаще в 2-3 раза на склонах, обращенных на север, чем на южных склонах. Тополь произрастает редко и равномерно на всей территории обследованных отвалов.

Результаты полевых экспедиций позволяют сделать следующие выводы: достоверно доказано, что форма рельефа в виде складок способствует ускоренному появлению пионерных группировок травянисто-кустарниковой растительности; заселение участков отвала растительностью приурочено к тем участкам, поверхность которых сложена смесью четвертичных пород (глины, суглинки, супеси и т.п.) с почвенным слоями.

УДК 622.882:628.33

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАП РЕКУЛЬТИВАЦИИ – ШАГ ВПЕРЕД ИЛИ НАЗАД

[1]д.т.н. Щадов И.М., [2]к.т.н. Нефедов Б.Н., [2]д.т.н. Зеньков И.В.
1 - Иркутский государственный технический университет,
г. Иркутск, Россия
2 - Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука»,
Красноярский научный центр СО РАН,
г. Красноярск, Россия

Аннотация. В статье представлен краткий мотивированный отказ от проведения биологического этапа рекультивации нарушенных земель при добыче угля открытым способом в виде комплексного геоэкологического обоснования. Приняты во внимание низкие качественные показатели рекультивированных земель, потери почвенной оболочки, загрязнение воздушного бассейна при проведении работ на техническом этапе рекультивации.

Ключевые слова: добыча угля открытым способом, рекультивация нарушенных земель, горнотехнический этап рекультивации, биологический этап рекультивации земель.

Как известно, до начала 1960-х гг. почвенную оболочку в бывшем СССР при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом отгружали вместе с породами первого вскрышного уступа, что, по сути, означало полное ее уничтожение. Но, поскольку на заре масштабного освоения месторождений полезных ископаемых изучению экологических аспектов открытых горных работ было положено начало, то и вопросы рекультивации нарушенных земель в стороне от исследователей не остались. Так началось великое противостояние двух научных школ – горной и почвенно-ботанической. По всей видимости (и это основано на анализе выполнения угольными разрезами проектных решений, по которым впоследствии производится разработка месторождений), последним удалось показать и доказать свою большую значимость в вопросах рекультивации земель. В условиях рыночной экономики анализ результатов производства работ по биологическому этапу заставляет задуматься – нужен ли в таком виде биологический этап рекультивации, и что получают в итоге заинтересованные в его проведении стороны?

Краткий ответ на этот вопрос представлен в настоящей статье в виде мотивированного отказа от проведения биологического этапа рекультивации нарушенных земель при добыче угля открытым способом.

На сегодняшний день на угольных разрезах Канско-Ачинского бассейна (6 крупных разрезов) картина рекультивации углепородных отвалов выглядит следующим образом: агрохимические показатели рекультивированных земель ухудшены в разы относительно показателей земель, изъятых под горные работы. Так достоверно установлено, что содержание гумуса в нанесенном почвенном слое находится в диапазоне 3-6 %, что значительно ниже, чем в плодородном слое почвы (8-12 %) до его снятия в ходе рекультивации. Поверхность отвалов представлена как крупной, так и мелкой складкой, геометрические параметры которой со временем имеют тенденцию в сторону их увеличения. Посев куль-

турных трав (люцерна, мятлик, донник и др.) дает положительный результат только в первые годы, далее от этих посевов остаются следы в плане размеров площадей их произрастания. Кроме того, увеличение мощности рекультивированного почвенного слоя не дает прироста продуктивности земель на отвалах, если под нанесенным почвенным слоем находятся горные породы, вынесенные из глубин (алевролиты и аргиллиты цементного и серого цвета). Также в ходе отработки месторождений имеют место потери почвенной оболочки на уровне 80-90 %, что ставит под сомнение результаты рекультивации земель, которая по замыслам ее создателей, должна выгодно отличаться от обращения с почвенной оболочкой на горных предприятиях до 1960 г.[1-8].

Мощность наносимого почвенного слоя в ходе рекультивации при создании пахотных угодий на породных отвалах согласно ГОСТу должна быть не менее 0,4 м. Как показывают многолетние полевые исследования, фактическая площадь рекультивированных земель со стандартным показателем мощности равна 55 % от суммарной площади восстановленных земель. На площади, составляющей 45 %, требуется доведение мощности почвенного слоя до стандартного показателя. По нашей оценке мощность дополнительного почвенного слоя, который необходимо нанести на поверхности отвалов с целью доведения до стандартного показателя (0,4 м), – 15-20 см. В объемном измерении это нанесение недостающего ПСП в количестве 170000-180000 $м^3$ на каждые 100 га площади породных отвалов.

Содержание главного показателя продуктивности почвенного слоя – гумуса – в почвах рекультивированных отвалов неизбежно снижается в среднем с 10 до 5 %, т.е. в 2,0 раза. Такая ситуация является следствием значительного засорения нанесенного почвенного слоя подстилающими ПСП вскрышными породами, подхваченными выемочными механизмами (бульдозер, экскаватор) совместно с ПСП в ходе работ на техническом этапе рекультивации. Изменение концентрации глинистых частиц с 35 до 50 % подтверждает, что на территории каждого восстановленного гектара земель в нанесенном почвенном слое содержится от 960 до 1400 т глинистых фракций, имеющих «нулевые» агрохимические показатели. Трансформация количественных и качественных показателей наносимого почвенного слоя в меньшую сторону на поверхности восстанавливаемых агроландшафтов приводит к резкому (в разы) снижению продуктивности рекультивированных земель.

При проведении полевых экспедиций по исследованию растительных экосистем на поверхностях отвалов выявлены особенности локального фитоценоза на каждом исследуемом отвале. Исследования каркаса фитоценоза в 100 % случаев показывают следующее – основу фитокаркаса через 2-3 года после проведения биологического этапа начинают составлять растения сорнякового ряда, такие как хвощ полевой, молочай, осот и др. Достоверно установлено то, что ежегодно каркас фитоценоза на каждом отвале подвержен изменениям, и такая трансформация может характеризоваться как неуправляемое растительное сообщество.

Подобная структура фитоценоза свидетельствует о невозможности в таком виде использовать поверхности отвалов в качестве пастбищных или сенокосных угодий. Кроме того на отвалах произрастет чертополох и борщевик рассеченный. Стебли и листья чертополоха имеют на своей поверхности множество мелких и крупных колючек. При поедании чертополоха животными колючки застревают в пищеводе и приводят к тяжелым заболеваниям различного рода. Растения-гиганты высотой до 2,5 м (борщевик, чертополох), составляющие верхний ярус фитоценоза отвала, ввиду своей ядовитости непригодны для поедания животными. Поэтому в настоящее время предприятия агропромышленного комплекса поверхность отвала в своей деятельности не используют.

Следующим, не поддающимся управлению со стороны горных предприятий природным процессом, является систематическое уплотнение отвала, в результате которого в его теле происходят усадочные процессы, под влиянием которых поверхность отвала приобретает вид рельефа в виде бесконечной гофры. Мелководнистый рельеф поверхностей отвалов делает затруднительным и невозможным проход сельскохозяйственной техники.

Площадь гребней, выявленных на поверхностях отвалов, составляет 60-80 % от суммарной площади отвалов. При использовании отвальных поверхностей в земледелии в ходе первого процесса – вспашки почвенного слоя – гребни рельефа неизбежно будут перемещены плугом во впадины рельефа. В этом случае мощность почвенного слоя уменьшится на 10-20 см в первые годы обработки этих земель и на 40-60 см в последующие годы. Гребневидный рельеф поверхностей отвалов требует проведения планировочных работ, в результате которых мощность нанесенного почвенного слоя в контурах гребней уменьшится на 10-18 см. Вследствие этого на участках с показателем мощности 15-20 см восстановленного почвенного слоя также потребуется дополнительное его нанесение в пределах 20-25 см.

Фактические потери плодородного слоя почвы за весь период отработки любого угольного месторождения достаточно просто определяют путем решения математической задачи-многоходовки по определению объемов и изменения концентрации веществ. В качестве исходной информации для расчетов использованы площади рекультивированных поверхностей породных отвалов, мощности нанесенного почвенного слоя. Определяют объем ПСП, использованный угольным разрезом для рекультивации этих отвалов. Так, например, на разрезе «Бородинский» на поверхность трех внешних отвалов нанесено 220, 122 и 254 тыс. $м^3$ почвенного слоя соответственно, а на поверхность внутреннего отвала нанесено 625 тыс. $м^3$ почвенного слоя. На временных складах имеется 1495 тыс. $м^3$ снятого ПСП. За 65 лет работы угольного разреза «Бородинский» переработано 2716000 $м^3$ ПСП. Вместе с тем анализ агрохимических показателей рекультивированных почв указал на увеличение глинистых фракций в нанесенном почвенном слое в среднем на 13 % относительно ПСП, находящемся в естественном природном состоянии. Это подтверждает, что 13 % от объема нанесенного почвенного слоя оставлено на территории горного отвода и сработано в отвал в виде потерь. Вполне понятно, что эти потери ПСП замещены глинистыми фракциями. С учетом засорения и потерь в рекультивации использован ПСП в объеме 1062000 $м^3$ и хранится на складе объем ПСП на уровне 1301000 $м^3$.

Рассчитан объем ПСП, находящийся на территории сельскохозяйственных угодий до производства на них горных работ. Зная среднюю мощность ПСП в природном состоянии – 58 см – и площадь этих угодий – 2300 га, определен объем ПСП, находившийся на территории отработанной части месторождения. Объем плодородного слоя почвы согласно этим условиям составлял 13340000 $м^3$. Исходя из разницы объема ПСП, находящегося в природном состоянии, и объема, нанесенного и хранящегося на складах, фактические потери ПСП за весь период отработки месторождения составили 10977000 $м^3$. Сравнивая показатели, характеризующие трансформацию почвенного слоя по мощности и площади, определена эффективность работ по рекультивации. В ходе работ по рекультивации использовано 17,7 % от объема ПСП, находящегося в природном состоянии, а 82,3 % от его объема – это безвозвратные потери ПСП на уровне 10,9 млн. $м^3$, размещенные в отвалах, но не на их поверхностях, а в толще отсыпаемых вскрышных пород.

По выполненной оценке фактические потери ПСП на шести угольных месторождениях КАТЭКа достигают за весь период их разработки 35-40 млн. $м^3$.

Далее, как было отмечено в публикациях авторов в журнале «Уголь» с 2007 по 2014 гг., научной школой в области горнотехнической рекультивации нарушенных земель в Специальном конструкторско-технологическом бюро «Наука» Красноярского научного центра Сибирского отделения РАН, всесторонне обоснована технология рекультивации земель, рабочие процессы в которой совмещены с производством вскрышных работ. В технологии из стандартного перечня работ по рекультивации земель оставлен один рабочий процесс – это снятие бульдозером ПСП и концентрированная его укладка в горном отводе. В целом по этой технологии, предусматривающей прямую транспортировку сформированного почвенного слоя на отвалы, объем загрязняющих веществ (оксид углерода, оксид азота, оксид серы, альдегиды, бензапирен и др.) ниже на 70-80 % в сравнении

с аналогичным показателем в разработанных в 1960-70 гг. технологиях с промежуточным складом ПСП.

Как показывают результаты проведенных полевых экспедиций, так и результаты дистанционного зондирования, ситуация с рекультивацией породных отвалов на 6 крупных разрезах КАТЭКа примерно является одинаковой в плане проектных решений и используемых технологий в два этапа – горнотехнический и биологический. Поэтому, обозначенные выше экологические проблемы от использования старых технологий будут проявляться как в близкой, так и далекой перспективе.

Итак, представлен вполне обоснованный отказ от проведения биологического этапа рекультивации земель и со всей ответственностью можно утверждать, что производство работ по выполнению биологического этапа рекультивации с позиции экологии оказывает разрушающее воздействие на молодые экосистемы, формирующиеся без участия человека на породных отвалах угольных разрезов. Отдельно следует отметить, что на это разрушение угольные разрезы направляют немалые финансовые средства.

Список литературы

1. Зеньков И.В. Результаты комплексного исследования поверхности внешнего отвала, рекультивированного для сельскохозяйственного использования // Уголь. – 2007. – № 9. – С. 51-55.

2. Зеньков И.В. Организация аудита в системах управления качеством рекультивируемых земель // Уголь. – 2008. – № 1. – С. 58-62.

3. Зеньков И.В. Результаты исследований изменения качественных показателей плодородного слоя почвы на техническом этапе рекультивации земель // Уголь. – 2009. – №9. – С. 63-67.

4. Зеньков И.В. Результаты исследования и оценка потерь плодородного слоя почвы в горнотехнической рекультивации нарушенных земель // Уголь. – 2010. – № 4. – С. 66-69.

5. Зеньков И.В, Кирюшина Е.В. Прогнозирование результатов горнотехнической рекультивации земель на разрезах Канско-Ачинского угольного бассейна // Уголь. – 2011. – № 12. – С. 66-69.

6. Зеньков И.В, Коростовенко В.В., Кирюшина Е.В. Использование результатов исследования закономерностей изменения мощности продуктивных почвенных слоев в горнотехнической рекультивации земель // Уголь. – 2012. – № 2. – С. 71-74.

7. Зеньков И.В., Мордвинов А.В, Волков А.В., Кирюшина Е.В., Вокин В.Н. Исследование и оценка влияния водной эрозии на рельеф породных отвалов разреза «Бородинский» // Уголь. – 2013, – № 2, – С. 73-77.

8. Зеньков И.В., Нефедов Б.Н., Кирюшина Е.В, Вокин В.Н., Шестакова М.И. Технологии рекультивации нарушенных земель с минимальным загрязнением воздушного бассейна // Уголь. – 2014, – № 9, – С. 100-102.

УДК 622.83

ОБ ИЗМЕНЕНИИ БАЗОВЫХ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В УСЛОВИЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕНСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ

к.т.н. Лазаревич Т.И., к.т.н. Поляков А.Н.
Кемеровское представительство ОАО «ВНИМИ»,
г. Кемерово, Россия

Аннотация. Интенсивные технологии подземной добычи угля существенно повысили нагрузку на недра, вызвав изменения базовых геомеханических параметров. Произошли качественные изменения состояния недр, сформировались новые риски осуществления подземной до-

бычи, требующие поиска новых механизмов контроля и управления ими в условиях использования современных технологий подземной добычи.

Ключевые слова: базовые геомеханические параметры, удароопасность пластов, зона опорного давления, защитная зона, зона повышенного горного давления (ЗПГД), многофункциональная система безопасности.

Переход современных угледобывающих предприятий на новые высокопроизводительные технологии добычи угля позволил существенно увеличить темпы отработки пластов и нагрузки на очистные забои. Скоростные технологии добычи качественно изменили происходящие в массиве геомехнические процессы, вызвав появление новых геомеханических, геодинамических и сейсмических рисков, что до настоящего времени не нашло должного отражения в нормативных документах. Отсутствуют соответствующие новым условиям научно обоснованные параметры технических и технологических мероприятий, обеспечивающих безопасность горных работ, что создает на многих шахтах условия нестабильности и аварийные ситуации.

Особо остро нормативная неурегулированность этих процессов добычи коснулась угольных шахт, отличающихся значительной глубиной, высокой газоносностью пластов, крепкими вмещающими породами, наличием зон повышенного горного давления (ПГД). Хорошо зарекомендовавшие себя в прошлом параметры технологические мер борьбы с горными ударами и внезапными выбросами, основанные на рекомендованных в сборнике документов «Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах» базовых параметрах, оказались недостаточны для обеспечения безопасных условий добычи при использовании интенсивных технологий отработки пластов. Для многих предприятий вопросы проектирования и осуществления подземной добычи при недостаточной урегулированности нормативных положений в вопросах учета новых технологий при возросших глубинах, выемочных площадях, скорости отработки пластов являются достаточно актуальными.

Особенно это касается базовых геомеханических параметров, описывающих состояния горного массива и используемых в действующих нормативных документах для обоснования выбора мер управления безопасным состоянием горного массива и установления их наиболее оптимальных параметров. В ряду наиболее важных из них рассматриваются геометрические размеры зон опорного давления, разгрузки, защитного действия, горного давления и сдвижения горных пород.

Основу пакета базовых параметров традиционно составляют ширина зоны опорного давления «*l*», коэффициент концентрации напряжений в области действия её максимальных нагрузок *«K»* и ширина защитной зоны «*n*», на основе которых регламентирован практически весь комплекс профилактических мер борьбы и профилактики горных ударов и внезапных выбросов, построена вся система взаимоувязанных норм управления ударо- и выбросоопасным состоянием массивов, включая нормы периодичности, местоположения и выбора технологических схем приведения массива в безопасное состояние.

По результатам выполненных ВНИМИ в последнее десятилетие комплексных исследований отмечено, что наибольшее влияние скоростные режимы добычи оказывают на выемочные участки, испытывающие одновременно влияние зоны опорного давления от движущегося забоя, и участков повышенной концентрации природных техногенных напряжений, способствующих высокой динамике перераспределения нагрузок в выемочном участке. В первую очередь, к ним относятся участки ЗПГД, передовые выработки, геологические нарушения, межлавные целики, зоны резких структурных изменений пласта и ряд других специфических зон, отмеченных на рис. 1. Размеры областей ощутимого влияния скоростных режимов отработки выемочных участков впереди очистных забоев достигают 400 м, при этом область их максимального влияния простирается, как правило, не далее 150-200 м от линии забоя, что в 1,5-2,0 раза превышает «нормативную» ширину зоны опорного давления, регламентированную «Инструкцией…».

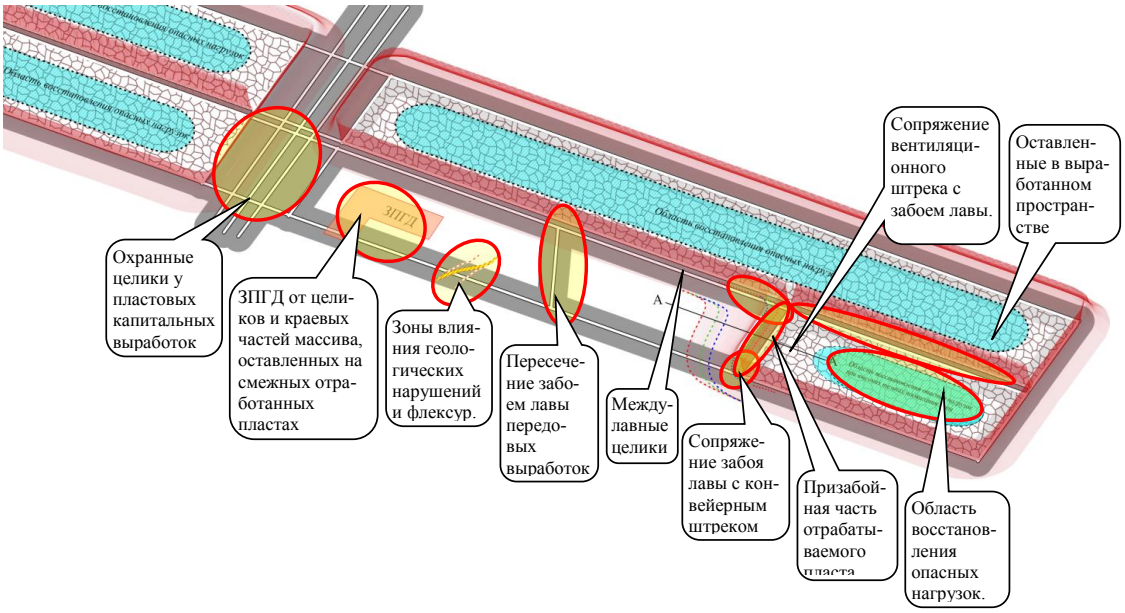


Рис. 1. Элементы горной среды, испытывающие максимальное влияние скоростных режимов отработки выемочных участков

На основе проведенных ВНИМИ комплексных исследований отмечено проявление ряда новых геомеханических эффектов скоростной добычи, ранее не имевших широкого распространения в горной практике. Наиболее важными из них являются:

- увеличение «дальнодействия» зон опорного давления, зон повышенного горного давления (ЗПГД), зон сдвижения пород на происходящие природные и техногенные сейсмические явления и промышленные взрывы;
- возникновение новых специфических геомеханических объектов – многоочаговых зон удароопасного состояния пласта представляющих совокупности (кластеры) очагов удароопасности с нестабильным геодинамическим режимом, охватывающих участки выемочных столбов протяженностью до 400 м;
- повышенная степень неоднородности и нестабильности распределения напряжений, резко меняющихся по протяженности выемочных участков и во времени;
- недостаточность применения индивидуальных профилактических мер и достижение положительного эффекта лишь при использовании объединенного пакета профилактических мероприятий: снижения скорости подвигания как очистного комбайна по лаве, так и самого забоя, уменьшения ширины захвата, перехода на одностороннюю выемку вместо челноковой, обеспечение отстоя забоя между циклами по выемке угля не менее 2 часов; оставление нижней пачки угля при движении комбайна снизу-вверх, с последующей выемкой ее при зачистке комбайновой дорожки сверху-вниз и др.;
- высокая миграционная способность очагов повышенной концентрации нагрузок в период проведения профилактических мероприятий по разгрузке пласта. Очаговые зоны повышенной удароопасности перераспределяются на смежные участки концентрации напряжений, на которых прогнозом вновь обнаруживается категория «ОПАСНО». Эффективность выполнения профилактических мер в этих условиях может быть обеспечена лишь их одновременным проведением сразу в пределах всей очаговой зоны повышенных нагрузок;
- снижение продолжительности действия разгрузочного эффекта после разбуривания выемочного участка комплектом разгрузочных скважин. Минимальная протяженность интервала сохранения разгрузочного эффекта может снижаться до величины шага подвигания забоя 1,5-2 м и уже при уходе забоя на 3–4 м происходить полное восстановление опасных нагрузок;

- возникновение категории «ОПАСНО» может происходить даже при остановленном забое после интенсивной отбойки пласта (например после выполнения операций передвижки лавного конвейера и задвижки секций крепи);
- в удароопасных зонах потребовалось практически двухкратное увеличение величины неснижаемого опережения интервала бурения разгрузочных скважин впереди забоя (на шахте «Алардинская» до 95-115 м при рекомендованной «Инструкцией…» величине неснижаемого опережения ***0,5l=48 м***);
- возникновение ранее не наблюдавшихся в Кузбассе проявлений горных ударов в форме взламыванием пород почвы с энергией от 800 до 2800 Дж. Горный удар этого типа произошел на шахте «Алардинская» после произведенной гидрообработки пород почвы в зоне опорного давления;
- существенное снижение эффективности однорядного, одностадийного бурения разгрузочных скважин по рекомендованным «Инструкцией…» схемам и параметрам. Гарантированный разгрузочный эффект часто достигается лишь двух- трехкратным выполнением циклов разбуривания пласта с более плотной сеткой бурения разгрузочных скважин.

Описанные выше эффекты рассматриваются как признак значительных качественных изменений механизма деформирования всей нагружаемой системы кровля-пласт-почва при использовании режима интенсивной добычи с резким увеличением доли упругих деформаций налегающей углепородной толщи по отношению к её пластичным и вязко-упругим деформациям. Эти условия были ранее сформулированы И.М. Петуховым в качестве одного из условий проявления горных ударов, когда возросшие скорости деформирования угля пласта существенно превышают возможные скорости релаксации этих нагрузок впереди забоев ввиду ограниченных возможностей развития в них пластических и вязко-упругих деформаций, что способствует проявлению горных ударов.

В диапазоне имевших ранее место малых скоростей отработки пластов, влияние этого фактора скоростей считалось не имеющим практического значения. При подготовке последних редакций «Инструкции…» по горным ударам он фактически не рассматривался в качестве регулирующего фактора при формировании удароопасных условий отработки. Игнорировать его в современных условиях уже невозможно и требуется существенная корректировки модельных представлений о механизме влияния скоростных режимов добычи на базовые геомеханические параметры, в том числе на основе изложенных выше материалов изучения новых форм реакции массива на изменившиеся режимы добычи.

Описанные выше изменения качественных признаков поведения массива и особенностей его реакции на резко возросшие нагрузки и изменения скорости движения забоя, позволяют расширить и уточнить сформированные модельные представления о реакции горной среды на интенсивные режимы добычи.

Уточнение механизма влияния режима скоростной добычи на базовые геомеханические параметры по материалам проведенных комплексных исследований. Из анализа материалов исследований ВНИМИ следует, что в условиях применения интенсивных технологий добычи резко снижается способность угольного пласта и вмещающих пород углепородной толщи к проявлению пластических и вязкоупругих деформаций в зоне опорных напряжений. При этом в периоды остановок забоя начинают проявляться не получившие полного развития при движении забоя пластические и вязкоупругие деформации. Как следствие, в стадии остановки забоя деформационные процессы не затухают, но меняется их механизм, происходит активизация реологических процессов, способных повысить давление на забойную крепь и краевую часть пласта;

В фазу движения забоя в скоростном режиме, в виду преобладания упругих форм деформаций, меняется характер перераспределения напряжений впереди забоев очистных и подготовительных выработок, а следовательно – и форма эпюр опорных напряжений. Схематично картина этих изменений, построенная по материалам наблюдений представ-

лена на рис. 2, на котором наиболее значимыми эффектами использования скоростных режимов отработки лавы являются:

- приближение максимума зоны опорных напряжений к линии забоя выработок;
- пропорциональное возрастание нагрузки, действующей непосредственно в забое;
- увеличение ширины зоны опорного давления (по нижнему уровню действующих в её дальней области нагрузок), что обуславливает «дальнодействие» этой зоны по направлению движения забоя.

В зависимости от выбора критерия построения границы распространения зоны опорного давления, увеличение ширины этой зоны оценивается в 1,2-1,4 раз по отношению к её нормативному значению ***l***, регламентированному действующей «Инструкцией…» по горным ударам.

В представленной на рис. 2 схеме видно, что относительное повышение нагрузок в зоне опорного давления при изменившейся эпюре нагрузок по сравнению с прежней эпюрой «низких скоростей» затрагивает две области – непосредственно примыкающую к линии забоя и дальнюю периферийную область, отстоящую от забоя на многие десятки и даже более сотни метров.

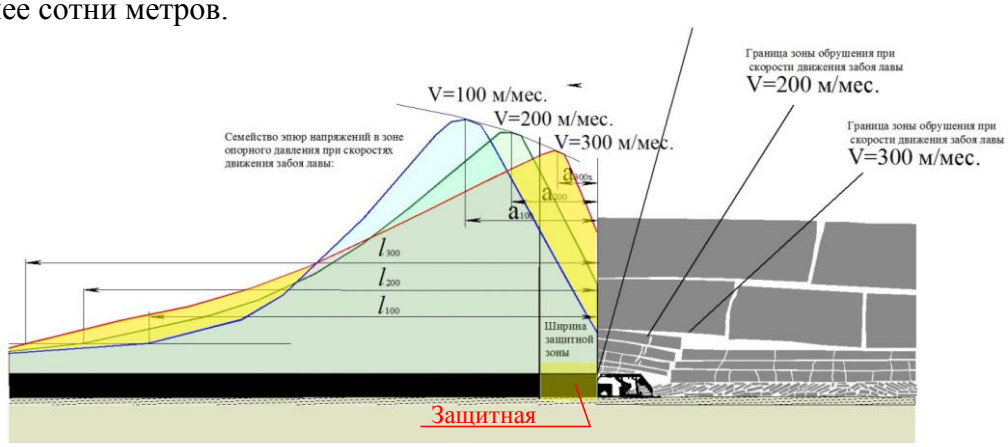


Рис. 2. Схема, иллюстрирующая характер распределения напряжений впереди очистного забоя по мере увеличения скорости его движения со 100 до 300 м/мес.

Представленная на рис. 2 схема отражает существенное качественное отличие механизма воздействия этих нагрузок на призабойную и периферийные части пласта со стороны его почвы и кровли. В ближней зоне этот механизм в значительной степени поддерживается упругим изгибом слоев налегающих пород кровли, а, следовательно, преобладанием сдвиговых деформаций и касательных напряжений, усиливающими эффекты хрупкого и динамического разрушения угля пласта. На удаленных от забоя участках пласта дополнительное давление вызывается нормально действующими на пласт нагрузками, которые представляют опасность, в основном, на участках предельно напряженных зон угольного пласта.

Отметим, что по материалам инструментальных наблюдений, уровень концентрации напряжений в области максимума зоны опорного давления при обычных и скоростных режимах добычи может оставаться на прежнем уровне (или даже несколько уменьшиться за счет увеличения площади распределения опорных напряжений). Однако, суммарные нагрузки в ближней к забою области зоны опорных напряжений (до точки максимальных напряжений) и потенциал концентрируемой здесь упругой энергии пласта и вмещающих пород кратно возрастают.

Именно увеличение потенциальной энергии призабойной зоны пласта и вмещающих пород, приводит к возникновению специфических негативных эффектов:

- к повышению ударо- и выбросоопасности призабойной части отрабатываемого пласта в сложнонагруженной системе почва-пласт-кровля;

- возникновению специфических видов «многоочаговых» зон удароопасности, при которых устранение нагрузок в одной из очаговых зон зачастую приводит в возрастанию нагрузок в смежных зонах. Характерные примеры – серии горных ударов на шахтах «Первомайская» и «Алардинская» в Кузбассе;
- возрастанию размеров очаговых зон удароопасности (размер очага горного удара в межлавном целике выемочного участка № 3-33 на шахте «Алардинская» достигал 100 м);
- возрастанию динамических эффектов в забое отрабатываемого выемочного участка в виде глубинных толчков, щелчков, тресков, глухих ударов, проявления импульсивных (толчкообразных по И. М. Петухову) форм деформирования пласта;
- возрастанию периода стабилизации нагрузок после остановки забоя и продолжительности активной стадии развития деформаций оседания кровли, что повышает негативные последствия длительной остановки забоя лавы.

Дальняя область зоны опорного давления характеризуется более низким градиентом изменения нагрузок по величине, но весьма интенсивным возрастанием этих нагрузок во времени. Однако ни величина, ни интенсивность их возрастания не достигают критических уровней без наличия в выемочном участке природных или техногенных концентраторов напряжений. Действие дополнительной пригрузки от зоны опорного давления на этих участках нарушает равновесное напряженное состояние системы почва-пласт-кровля. Интенсивный характер нарастания этих нагрузок повышает динамический эффект образования микроразрушений пласта и происходящих вблизи них сейсмических и микросейсмических процессов.

Отметим, что высокая скорость перераспределения нагрузок в условиях интенсивной отработки угольных пластов компенсируется значительной инерционностью развития процессов сдвижения налегающей над выработанным пространством толщи пород. Соответственно замедляется процесс оседания налегающей толщи пород над её выработанным пространством, как следствие - процесс восстановления нагрузок на почву пласта. Однако это неизбежно приводит к более длительному сохранению этих нагрузок в зоне опорного давления и в ЗПГД.

В условиях скоростных режимов отработки выемочных участков значительное увеличение их размеров вызывает дополнительные нагрузочные эффекты в окаймляющих их зонах опорного давления. Расчетные значения $\boldsymbol{l}$ по нормативам действующих «Инструкций…» по горным ударам и внезапным выбросам были установлены для «стандартной» ширины лав, равной 150 м, которая была типична для технологических схем подземной добычи 80-90-х годов прошлого века. Современные комплексно механизированные лавы, имеют длину в полтора-два раза большую, охватывают весьма крупные выемочные площади, но размеры их зон опорного давления оцениваются по прежним нормативам.

Очевидно, что для изменившихся условий очистной добычи, регламентированные «Инструкцией…» параметры зон опорного давления $\boldsymbol{l}$ дают заниженные размеры, как и всех производных от неё параметров, регламентирующих технологию прогноза и мер профилактики горных ударов. Расчетные размеры зон опорного давления уже не отражают реальных масштабов оказываемого ими геомеханического и геодинамического влияния и не учитывает огромный пласт ранее проделанных ВНИМИ теоретических и экспериментальных работ по теории горного давления.

На рис. 3 представлена рекомендованная по материалам исследований ВНИМИ обновленная номограмма для расчета ширины зоны опорного давления, учитывающая перечисленные выше факторы применительно к условиям интенсивной отработки, включая расширение диапазона расчетных параметров до 1000 м и учет влияния ширины выработанного пространства до 250 м и более. Корректировка размеров зоны опорного давления получена введением корректирующего множителя, учитывающего фактические размеры выработанных пространств.

Ширина зоны опорного давления по номограмме на рис. 3 определяется по трем исходным параметрам: глубине, отрабатываемой мощности пласта и ширине выработанного пространства. Форма ветвей графиков указывает на нелинейный характер зависимости ширины зоны опорного давления от глубины и мощности пласта. Форма этой зависимости наиболее близко отвечает физической модели природных процессов, протекающих в сложноорганизованной геологической среде с изменяющимся масштабом воздействия и по своему характеру являющихся аналогом фазовых переходов. Скорректированный вид номограммы, представленный на рис. 3, содержит в левой части дополнительные ветви графика, корректирующие ширину зоны опорного давления от ширины выработанного пространства ***«а»***.

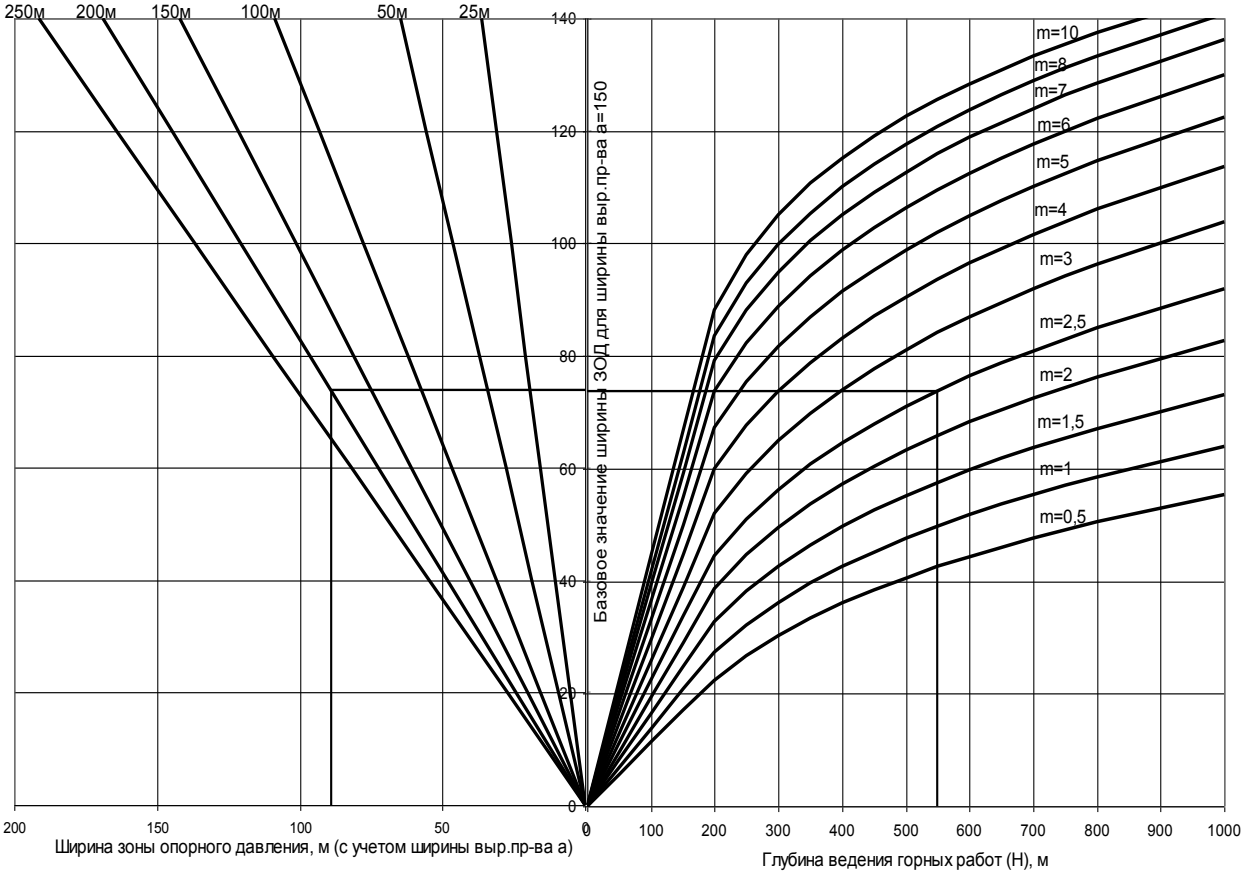


Рис. 3. Скорректированный вид номограммы для определения ширины зоны опорного давления по глубине ведения горных работ (Н), мощности пласта (m) и ширине выработанного пространства (а) для условий использования интенсивных технологий отработки угольных пластов

На рис. 4а представлена скорректированная номограмма для определения ширины защитной зоны. В соответствии с предложенной корректировкой предлагается увеличить нормативную ширину защитной зоны на 1,0-1,5 м во всем диапазоне мощностей пластов. Целесообразность внесения указанных изменений обосновывается следующими причинами:

- ослаблением призабойной части пласта зоной развитием систем пластовых и приконтактных трещин, распространяющиеся на глубину 1,5-2,0 м от линии забоя;
- более хрупким поведением углей пластов, лишенных значительных «ресурсов» развития пластических и упруго-вязких деформаций;
- увеличение градиента возрастания нагрузок в призабойной части пласта, повышающего потенциал их «выдавливающего» воздействия на краевую часть пласта и снижающего «защитные возможности» защитной зоны в призабойной зоне пласта;

▪ толчкообразный характер деформирования пласта и накапливаемые в нем вибрационные эффекты от происходящих микросейсмических и сейсмических процессов также снижают прочность защитной зоны.

По материалам исследований, в результате наложения этих факторов происходит существенное ослабление прочности краевой части пласта в границах защитной зоны.

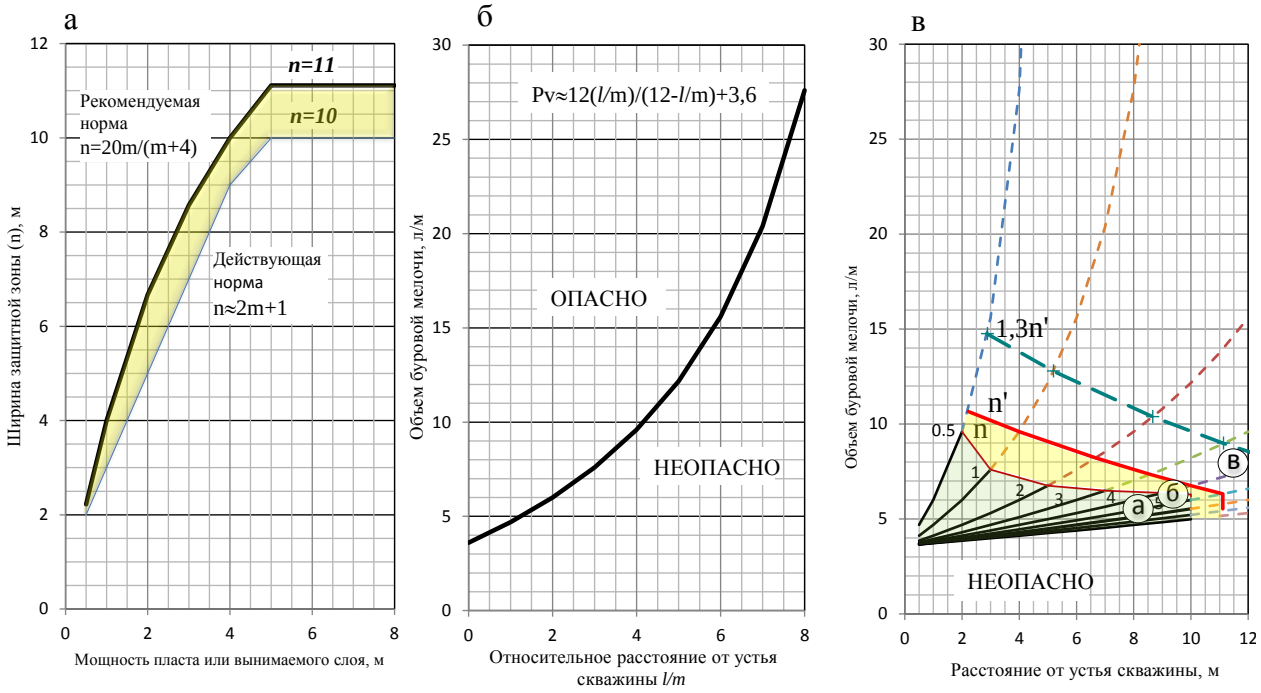


Рис. 4. Корректировка ширины защитной зоны с учетом ослабляющего действия на краевую часть пласта скоростного режима отработки выемочных участков и определение актуальной области номограммы для установления категории удароопасности пластов по выходу бурового штыба на основе значений действующей (n) и уточненной (n', 1,3n') нормативной ширины защитной зоны на пластах различной мощности

Ветви графика n' и 1,3n' на рисунке (в) устанавливают размеры защитной зоны при работе, соответственно, в стандартных условиях (n') и в опасных зонах (1,3n'). На основании предлагаемого увеличения ширины защитной зоны ***«n»*** произведена оценка изменения положения актуальной области номограммы для установления категории удароопасности пластов по выходу штыба на пластах различной мощности, заданных в «Инструкции…» в относительных величинах расстояний до максимума нагрузок, отнесенных к мощности пласта.

На рис. 4б представлена номограмма для определения категории удароопасности краевых частей пласта по выходу бурового штыба, в относительных величинах расстояния от устья скважины. На рис. 4в ветви номограммы построены в абсолютных величинах расстояний от точки замера до устья прогнозной скважины, поэтому построены для каждого кратного значения мощности. В этой связи номограмма рис. 4в представлена в виде семейства графиков ***(n, n', 1,3n',).*** Эти точки ограничивают актуальную область номограммы, обеспечивающую получение расчетных значений, поскольку за границами защитной зоны горные удары не проявляются, соответственно выполнение прогноза удароопасности за этими границами в соответствии с «Инструкцией…» является необязательным.

Ввиду выявленной зависимости базовых параметров от скоростных технологий отработки пластов и условий ведения подземной добычи достаточно актуальным становится вопрос контроля стабильности базовых параметров, их соответствия современным техни-

ческим и технологическим возможностям горного производства. В долгосрочной перспективе решение этой задачи должно быть возложено на создаваемые системы контроля состояния горного массива как элементы многофункциональных систем безопасности шахт. На наш взгляд, эта задача должна быть включена в реестр основных задач системы контроля, а для ее решения должны быть предусмотрены единые стандарты, специализированные схемы и системы наблюдений, выделены каналы регистрации.

Выводы:

- по материалам исследований ВНИМИ выполнена корректировка ряда базовых геомеханических параметров, претерпевших изменение в условиях скоростных режимов отработки выемочных участков;
- уточнены модельные представления о характере влияния скоростных режимов отработки выемочных участков на геомеханическое состояние массива, позволившие прогнозировать реакцию массива на технологическое воздействие и формирование зон риска;
- отмечена роль природных и техногенных концентраторов напряжений на возможное развитие удароопасной ситуации даже на периферии зоны опорного давления со слабым уровнем концентрации нагрузок;
- отмечена необходимость постановки задачи контроля стабильности базовых геомеханических параметров с помощью систем контроля состояния горного массива как элементов многофункциональной системы безопасности шахт, что потребует разработки единых стандартов и специализированных схем наблюдений.

УДК 622.142.5

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ГОРНОГО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА GITS (ВНИМИ) НА ШАХТЕ «ПОЛЫСАЕВСКАЯ»

Панин С.Ф.
Кемеровское Представительство ВНИМИ,
г. Кемерово, Россия

Аннотация. Изложен опыт использования системы горного сейсмического мониторинга GITS на шахте «Полысаевской» в зоне сейсмической активизации г. Полысаево. Проанализированы факторы влияния на уровень сейсмической активности скоростных режимов добычи, глубины работ, сложного строения горной среды.

Ключевые слова: сейсмические риски, сейсмическая активность, горное давление, горные удары, прогноз удароопасности массива, система горного сейсмического мониторинга GITS.

Эксплуатация Ленинского угольного месторождения осложняется наличием сейсмоактивной зоны, приуроченной к крупнейшим геодинамически активным структурам Центрального Кузбасса - Кильчигизскому и Южно-Журинскому региональным взбросам. Во многом, специфическим геодинамическим режимом этих систем, совместно с горно-технологическими условиями ведения горных работ были созданы геодинамические предпосылки для проявления резкой сейсмической активизации участка недр на территориях смежных полей шахт «Полысаевская», «Заречная», «Октябрьская», «Комсомолец» Ленинского геолого-промышленного района.

Приуроченность зоны сейсмической активизации к тектоническим нарушениям, зонам геодинамического влияния отрабатываемых выемочных участков, крупным целикам и т.п. требует детального изучения условий совокупного влияния разнородных факторов, которые могли способствовать зарождению и развитию сейсмических процессов в Полысаевской сейсмоактивной зоне. Ставилась задача в получении разноплановых данных о

структуре и состоянии массива горных пород и угольного пласта на отрабатываемых и подготавливаемых выемочных участках.

Для практической реализации вышеперечисленных задач, наиболее эффективными на региональном уровне являются методы сейсмического и геодинамического мониторинга, основанные на регистрации происходящих в горном массиве сейсмических и геодинамических процессов. Базовым методом их мониторинга был сейсмический метод контроля сейсмоактивной зоны Ленинск-Кузнецкого геолого-промышленного района с привлечением системы подземного горного сейсмического мониторинга GITS [1].

Цель системы GITS -- прогноз и оценка возможных динамических проявлений в горном массиве, а также выявление связи между сейсмической и геодинамической активностью (горных ударов) с технологическими условиями ведения горных работ.

Основная задача системы GITS - обеспечение непрерывного контроля интенсивности сейсмических и динамических явлений в массиве при отработке выемочного участка 18-8 и 18-6 по пласту Толмачевский на шахте «Полысаевская» ОАО «СУЭК КУЗБАСС» [2].

Аппаратура системы GITS представляет собой систему, состоящую из двух аппаратурных комплексов наземного и подземного типа. Наземный модуль размещается в специально подготовленном помещении здания АБК шахты «Полысаевская». Подземная часть (сейсмодатчики и блоки регистраторов) размещается в предварительно подготовленные 5-7 метровые скважины, пробуренные в борта пластов. Данные с 10 сейсмодатчиков, поступают в компьютерную базу данных SQL. Обработка ведется оператором в течение рабочей смены.

Расстановка датчиков сейсмической сети осуществлялась с учетом требований её максимальной информативности с охватом для наблюдений всей актуальной области горного отвода шахты «Полысаевская». Исходя из условий и накопленного ВНИМИ опыта эксплуатации систем], было установлены 10 датчиков в капитальных горных выработках: 6 датчиков на пласте Толмачевский (№ 1-5,8) и 4 датчика на пласте Бреевском (№ 9 - 12). Схема установки датчиков приведена на рис.1.

Анализ результатов работы системы GITS за опытный период с 10.12.2011г. по 01.08.2013г. Анализ происходящих сейсмических событий за представленный период выполнялся сотрудниками ВНИМИ по результатам наблюдений станции GITS и предоставлялся на шахту «Полысаевскую» в виде отчета за каждый месяц, в случае необходимости чаще. В отчете отражалась динамика сейсмической активности за период наблюдений по количеству событий, энергии сейсмособытий, сейсмической активности в массиве по сменам работы лавы. На основании полученных данных ВНИМИ, производилась оценка напряженного состояния участка шахтного поля и выполнялся сравнительный анализ зависимости интенсивности сейсмособытий от темпов ведения очистных работ, с учетом меняющейся горно-геологической ситуации.

По результатам данных отчетов сделаны определенные выводы по работе системы GITS.

Анализ сейсмических данных позволяет выделить два основных периода в работе системы GITS по контролю за сейсмическим режимом : первый период с 2011 г. по ноябрь 2012 г., сейсмическая ситуация в течение которого определялась процессами, обусловленными отработкой лавы 18-8 по пласту Толмачевский и второй период с декабря 2012 г. по август 2013 г., сейсмический режим на территории шахтного поля формируется по мере отработки выемочного участка 18-06 по пласту Толмачевский.

За период наблюдений 2011-2012 гг. был выполнен анализ пространственно-временного распределения зафиксированных сейсмических явлений системой GITS, с анализом изменения напряженного состояния массива по мере движения очистного забоя в условиях волнообразного нарастания и спада сейсмической активности.

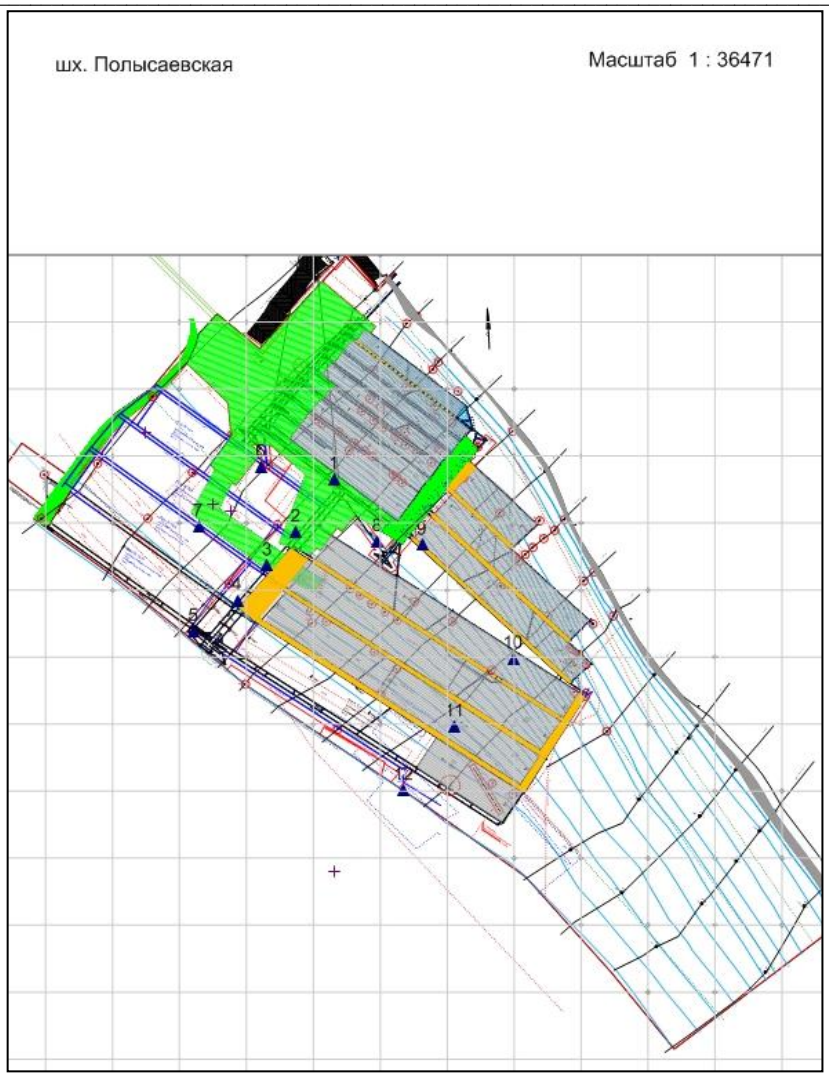


Рис. 1. План размещения сейсмодатчиков на территории горного отвода шахты «Полысаевская»

По данным регистрации, системой GITS получены следующие результаты.

- Отслежены особенности развития сейсмических процессов в период ведения очистных работ в лаве 18-8 на пласте Толмачевский, в период которого выделены несколько фаз активизации сейсмической активности (от 1-2 до 15 событий в сутки и более).
- Установлена связь между повышением сейсмической активности и процессом обрушения основной кровли выемочного участка 18-8 пласта Толмачевский. В указанный период системой GITS зарегистрированы события с максимальной энергией 4200 Дж, с которым непосредственно связывается момент обрушения основной кровли.
- Установлен цикличный характер варьирования сейсмического режима и наличие фазы наиболее резкой активизации сейсмической активности в кровле пласта в период, непосредственно предшествующий моменту обрушения основной кровли. Для лавы 18-8 пласта Толмачевский этот период составлял 20-25 дней.
- Установлено наличие существенных различий в поведении массива в период начальной, средней и завершающей стадий отработки выемочного участка, по мере увеличения размеров выработанного пространства.
- Зона локализации сейсмических процессов перед обрушением кровли пласта смещается в ближнюю область выработанного пространства, после чего перемещается в

зону опорного давления и ПГД, распределяясь по глубине довольно равномерно выше и ниже пласта.

- Подтверждена возможность выполнения пространственно-временного прогноза развития потенциально опасных процессов и осуществления региональных и перспективных прогнозов удароопасности. По материалам наблюдений GITS в сентябре 2012г., при подходе лавы 18-8 к вентиляционному уклону18-2 бис были своевременно приняты профилактические меры, позволившие разгрузить массив и исключить угрозу возникновения горного удара.
- Осуществлено детальное зонирование сейсмоактивной зоны в границах шахтного поля, с указанием периодичности и временных интервалов нарастания и спада сейсмической активности.
- В период 2012-2013 гг. геоинформационной системой GITS регистрируются сейсмические события различной природы. Большая их часть идентифицирована как динамические явления и зарегистрированы непосредственно на территории горного отвода шахты «Полысаевская». Часть из них представлена «промышленными взрывами» и, достаточно редкие события, представлены региональными землетрясениями с энергией от 10 000 до 36 000 Дж. Ввиду значительной удаленности эпицентров региональных землетрясений от территории горного отвода (более 700 км), для горных выработок шахты «Полысаевская» данные события опасности не представляли.
- По материалам сейсмических регистраций с помощью системы GITS на контролируемую площадь строились карты прогноза и уточнялась категория удароопасности пласта с учетом данных локального прогноза. На их основании осуществлялось планирование профилактических мер по борьбе с горными ударами.

Период наблюдений 2012-2013 гг. отмечен рядом значительных изменений в горно-технической ситуации на шахте и, как следствие, в сейсмическом режиме на ее территории:

- в связи с окончанием отработки выемочного участка 18-8 и работами по демонтажу и переносу очистного комплекса в лаву 18-6, в горном массиве практически прекратилась сейсмическая активность, а регистрируемые сейсмические события имели низкоэнергетический характер;
- изменившаяся горно-техническая ситуация на момент отработки выемочного участка 18-8 вызвала ослабление регистрационных возможностей системы сейсмодатчиков и потребовала перемонтажа сейсмоприемников на более актуальные участки контроля;
- после перенастройки системы регистрация событий продолжилась в нормальном режиме, при этом ошибка определения координат в плане не превышала 20 м, по глубине - до нескольких десятков метров;
- до входа лавы 18-6 в зону ПГД от пласта Бреевский произошло достаточно плавное перераспределение напряжений в массиве, обусловленное, как обрушением кровли, так и перемещением зоны опорного давления по мере подвигания забоя. Динамика сейсмической активности в этот период была спокойной, уровень энергетических событий низкий, зона локализации очагов не выходила за границы выемочного участка 18-6;
- завершение отработки выемочного участка 18-6 не привело к полному затуханию сейсмической активности на территории горного отвода щахты «Полысаевская». Очередной всплеск сейсмической активности произошел 21.03.2013 г. Уровень этой активности в этот период достигал 16 событий в сутки, его максимальная энергия достигала 2000 Дж.

На представленных гистограммах достаточно сложно проследить определенную корреляцию между скоростью подвигания забоя и сейсмической активностью, однако, если увеличить временной интервал наблюдений до нескольких месяцев, то эта трендовая связь четко проявляется. На рис. 2-4 представлены гистограммы скорости подвигания

очистных забоев 18-8 и 18-6 и сейсмическая активность. Как видно по графикам, прослеживается определенная положительная динамика в сейсмической активизации по количеству событий и скоростными параметрами очистных работ: увеличение скорости подвигания забоя сопровождается ростом регистрируемых сейсмических событий. Нужно отметить, что отмечается незначительное запаздывание между скоростью и количеством, вероятнее всего, это обусловлено процессами перераспределения НДС массива по мере его нагружения и выхода из под нагрузки.

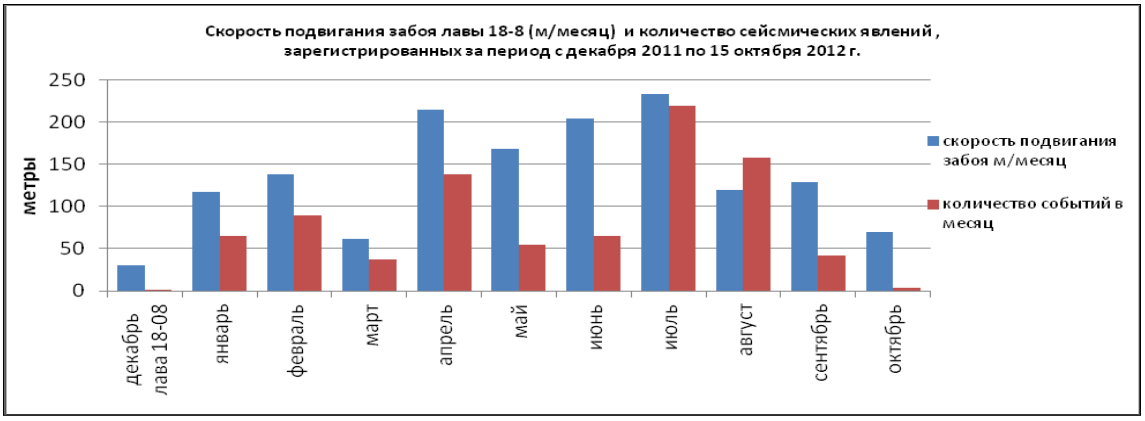


Рис. 2. Динамика сейсмической активности т скорости подвигания очистного забоя 18-08 за период с 01.12.2012 по 15.10.2012 гг.

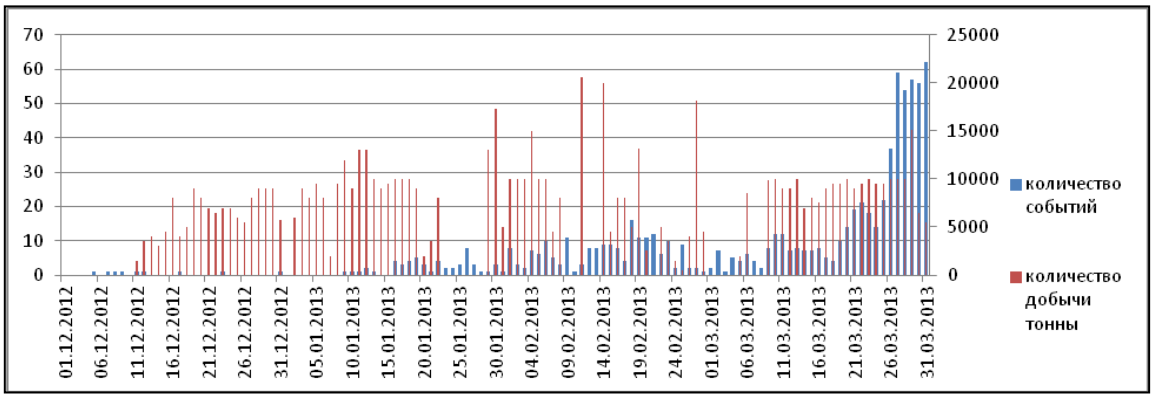


Рис. 3. Динамика сейсмической активности в массиве (область выемочного участка 18-06) и скорости подвигания забоя 18-06 за период с 01.12.2012 по 31.03.2013гг.

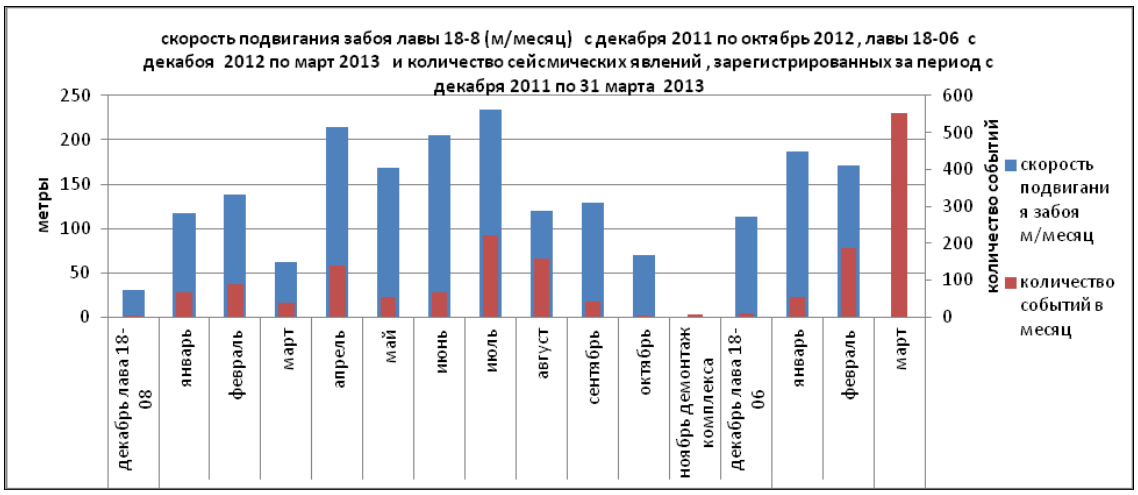


Рис 4. Динамика сейсмической активности за весь период сейсмологического мониторинга GITS в сравнении с месячной скоростью отработки выемочных участков 18-08 и 18-06

Отчетный период (с 1 по 31августа) характеризуется резким снижением сейсмической активности. Если за предыдущий период с 1 июня по 31 июля система GITS зарегистрировала 1567 сейсмических событий, то в августе система зарегистрировала 54 сейсмических события, из которых очаги только 17 сейсмических событий приурочены к территории горного отвода шахты «Полысаевская».

Согласно проведенному анализу пространственно-временного распределения событий, их эпицентры, в основном, группировались в межучастковом целике выемочных участков 18-8 и 18-6. События характеризовались низкой энергией, и как правило, были обусловлены процессами деформации целика и обрушением основной кровли.

Анализ обработанных данных показал, что максимальное количество событий имело энергию в диапазоне от 43 до 500 Дж. Их массовая доля составила 76% общего числа обработанных событий. Однако, зона негативного влияния от событий с такой энергетикой незначительна и, согласно расчетам, не превышала 3 м. Количество событий с энергией от 500 до 2000 Дж. составило 27%. Область возможных необратимых деформаций от событий с такой энергетикой также ограничена первыми метрами. События, энергия которых достигала 4500 Дж, которые могли иметь существенное влияние на состояние массива, в этот период не зарегистрированы.

На графиках (рис.5) представлена динамика сейсмической активности по количеству событий, суммарной суточной энергии, показателю удароопасности F на территории горного отвода шахты «Полысаевская» непосредственно в пределах отрабатываемого в этот период выемочного участка № 18-6.

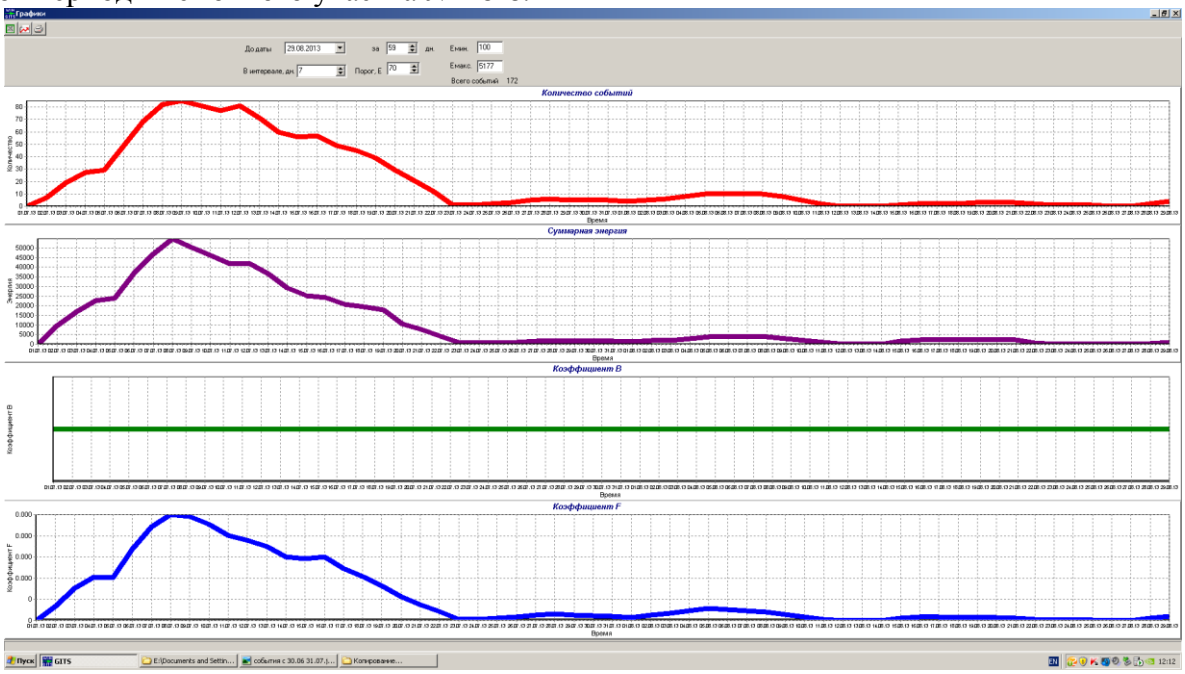


Рис. 5. Динамика сейсмической активности по количеству событий, суммарной суточной энергии, показателю удароопасности F на территории горного отвода непосредственно в пределах отрабатываемого в этот период выемочного участка № 18-6

Согласно представленным графикам, после фазы активизации (период с 1.07 по 22.07) с 26 июля в массиве отмечается процесс сейсмического затухания, обусловленного завершением очистных работ в лаве № 18-6. Этот период характеризуется тенденцией к снижению сейсмической активности и рассеиванию зоны концентрации очагов сейсмических событий. Однако, из-за продолжавшихся процессов сдвижения, в том числе и обусловленных обрушением основной кровли, интенсивность проявления сейсмических явлений возрастала, при этом длительность этого процесса составила несколько месяцев.

Таким образом, согласно проведенному анализу работы системы GITS можно сделать следующие выводы:

Специфический геодинамический режим на территории горного отвода шахты «Полысаевская» совместно с горно-технологическими условиями ведения добычных работ обуславливает геодинамические предпосылки для проявления резкой сейсмической активизации участка недр.

Выявленные по результатам горного сейсмического мониторинга зоны сейсмической активизации, в основном, приурочены к тектоническим нарушениям, зонам геодинамического влияния отрабатываемых выемочных участков, крупным целикам. С учетом совокупного влияния разнородных факторов, данные условия способствуют зарождению и развитию сейсмических процессов в Полысаевской сейсмоактивной зоне.

Достоинства системы GITS:

- за счет большого количества сейсмических павильонов достигается значительная точность в определении положения эпицентра сейсмического события. В отличие от региональных сейсмологических систем, дающих ошибку в определении положения эпицентра ±10 км, система GITS позволяет определить координаты эпицентра с точностью ± 30 м;
- динамические параметры GITS позволяют идентифицировать события по природе их происхождения. Анализ волновых форм дает возможность определить механизм очага события, тем самым локализовать очаг в пространстве.

Перспективы совершенствования системы GITS:

- объединение системы GITS с наземной сейсмологической сетью, на основе сейсмоприемников типа «Байкал»;
- развитие многофункциональных возможностей системы GITS, в первую очередь как системы сейсмо-деформационного и, в перспективе, газового мониторинга;
- совершенствование методики расчета гипоцентров с повышением точности локации по глубине.

Список литературы

1. Яковлев Д.В., Лазаревич Т.И., Поляков А.Н. Принципы построения систем мониторинга состояния геологической среды на комплексных сейсмо-геодинамических полигонах на горных предприятиях. – ВНИМИ, 2013.

2. Мулев С.Н., Бондырев А.В., Панин С.Ф.. Опыт внедрения сейсмического мониторинга на шахтах и рудниках России. 2014.

УДК 622.012

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ КОНСЕРВАЦИИ (ЛИКВИДАЦИИ) УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Зимин И.И.
Кемеровское Представительство ОАО «ВНИМИ»
г. Кемерово, Россия

Аннотация: В данной статье рассмотрены вопросы геодинамической безопасности при проведении работ по консервации (ликвидации) горного предприятия. Определены основные задачи геодинамического мониторинга и пути их решения. Обоснованы виды инструментальных наблюдений и комплексный подход к определению геодинамических процессов. Предложено при выполнении проекта консервации (ликвидации) шахты проводить мониторинговые исследования в рамках геодинамического полигона и прогнозировать характер протекания деформационных процессов.

Ключевые слова: горно-капитальные выработки, геодинамические процессы, деформация земной поверхности, консервация, ликвидация, шахта, геодинамический полигон.

Производственная деятельность горно-добывающих предприятий рассчитывается на определенный срок эксплуатации. В течение этого срока шахта проходит несколько основных стадий развития горных работ – проектирование и строительство предприятия, отработка запасов угля с выходом на проектную мощность и затухание горных работ. По завершению последней стадии выполняются работы по консервации (ликвидации) поверхностного комплекса и горно-капитальных выработок шахты.

Сложившаяся ранее практика разработки месторождений сопровождалась возведением целого комплекса социально-бытовых предприятий, жилых домов и строений, которые, как правило, располагались в границах горного отвода шахты. Эти объекты были построены либо на ранее подработанном массиве горных пород, либо подрабатывались горными работами во время эксплуатации.

Многолетний опыт эксплуатации пластовых месторождений показал, что при их разработке возникают антропогенные геодинамические процессы в виде деформаций вмещающих пород, залегающих над горными выработками с образованием просадок земной поверхности глубиной до нескольких метров и формированием обширных территорий подработки, достигающих по размеру нескольких десятков квадратных километров по площади. Деформация земной поверхности сопровождается негативным воздействием на техническое состояние зданий и сооружений, расположенных в границах подработки.

Одним из обязательных требований по обеспечению безопасных условий консервации (ликвидации) шахты, является организация эффективной системы мониторинга за развитием геодинамичеких и гидрогеологических процессов.

Создание и функционирование геодинамических полигонов осуществляется в целях обеспечения промышленной безопасности и охраны недр. Регламентируются следующими нормативными документами:

– Закон РФ «О Недрах», ст. 26;

– Положение о порядке выдачи разрешений на застройку площадей залегания полезных ископаемых, (РД 07-309-99, п.п. 42, 43, 48);

– Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр, (РД 07-408-01, п. 16);

– Инструкции по производству маркшейдерских работ, (РД 07-603-03, п.п. 262 - 267);

– Руководство по геодинамическим наблюдениям и исследованиям для объектов ТЭК, (ВНИМИ, 2012 г).

При этом следует иметь в виду, что наибольшую информацию об организации и регламентации работ на геодинамических полигонах содержит последний документ. Дополнительная информация содержится также в ряде отраслевых инструкциях.

Для контроля возникающих при консервации (ликвидации) предприятия негативных рисков, влияющих на состояние вмещающей геологической среды, промышленных объектов, городской инфраструктуры, а также безопасных условий проживания людей и безаварийного функционирования смежных шахт, необходимо обеспечить решение следующих задач:

– разработку мер контроля над рисками развития негативных процессов вокруг консервируемых (ликвидируемых) шахт;

– контроль динамики развития негативных процессов и этапов возникновения критических состояний;

– выбор наиболее эффективных средств нейтрализации негативных тенденций и недопущение их перерастания в фазы критических и кризисных состояний;

– оценку эффективности применения профилактических мер по устранению негативных последствий.

Решение перечисленных выше задач выполняют на специальном геодинамическом полигоне, с учетом:

– определения области влияния горных работ консервируемой (ликвидируемой) шахты на геологическую среду;

– выполнения режимных наблюдений, сбора наблюдательных данных об изменении контролируемых параметров деформации земной поверхности, динамике природных и техногенных геодинамических процессов;

– контроля динамики развития негативных процессов и этапов возникновения критических состояний;

– прогнозирования развития геодинамических процессов и опасных геодинамических явлений, в том числе сейсмологических.

Технические решения по строительству геодинамического полигона должны в полной мере учитывать фактические условия и состояние подземной горной среды консервируемой (ликвидируемой) шахты, преобладающие риски негативного воздействия на состояние недр и возможность своевременного принятия мер противодействия негативным факторам, либо снижения их возможных негативных последствий.

Построение геодинамического полигона выполняют на основе проведения предварительного геодинамического районирования и выделения трасс геодинамически активных структур. Профильные линии полигона привязываются к створным направлениям активных структур или узлам их взаимного пересечения, где предполагается максимальная геодинамическая активность недр. Геометрическую основу систем составляют базовые пункты GPS-наблюдений, создающих единую систему отсчета для траекторий движения всех геометрических точек геодинамической сети.

На геодинамическом полигоне проводят следующие основные виды наблюдений:

– инженерно-сейсмологические наблюдения для контроля сейсмического режима (количества и энергии сейсмических событий, распределения их эпицентров в пространстве и во времени) – сейсмологический мониторинг;

– маркшейдерские инструментальные наблюдения деформационных процессов земной поверхности, происходящих в границах подработки жилых поселков и значимых объектов поверхности;

– геофизические наблюдения в местах возможного образования провалов;

– специальные гидрогеологические наблюдения за режимом подтопления и развивающимися гидрогеодинамическими процессами.

Конечным результатом геодинамического мониторинга является обоснование, на основе многофакторного анализа, критериев деформации земной поверхности в районе подработки и разработка рекомендаций по безопасной эксплуатации зданий и сооружений. Кроме того, необходимо рассматривать риски активизации сейсмических, гидрогеологических, геодинамических и деформационных процессов на земной поверхности, в том числе процесса провалообразования, представляющих опасность для жилых и промышленных строений и оказывающих косвенное влияние на изменение динамики накопления грунтовых вод.

Таким образом, выполнение комплекса наблюдений на геодинамическом полигоне позволяет своевременно контролировать изменения состояния земной поверхности с целью обеспечения безопасности объектов поверхности, расположенных в границах влияния консервируемых (ликвидируемых) шахт.

Список литературы

1. Закон РФ N2395-1 от 21.02.1992 г ("О недрах").

2. Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» М.,8 – Ф3, 1994.

3. Инструкции по производству маркшейдерских работ, (РД 07-603-03).

4. Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр, (РД 07-408-01).

5. Инструкция о порядке ведения работ по ликвидации и консервации производственных объектов, связанных с использованием недрами, М., 1999.

6. Практическе руководство по созданию, контролю и реконструкции маркшейдерско – геодезических сетей и наблюдения за сдвижением поверхности с использованием спутниковой аппаратуры, ВНИМИ, 1998.

7. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях, М., Недра, 1989.

8. Методическое руководство о порядке выделения провалопасных зон и выборе комплекса технических мероприятий по выявлению и ликвидации пустот при ликвидации шахт, М., 1999.

9. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. — М.: ЦНИИГАиК, 2003.

10. Временное положение о горно-экологическом мониторинге, Утв. 16.05.97. Госгортехнадзор РФ, МПР России и Госкомэкологии.

11. Руководство по геодинамическим наблюдениям и исследованиям для объектов топливно-энергетического комплекса. Изд. Минтопэнерго РФ, М., 1997.

УДК 622.272.63

КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ БЕЗОПАСНОЙ ДОБЫЧИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНЫХ ПОДХОДОВ К ПОДГОТОВКЕ ПРЕДПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Харкевич А.С., Власенко Ю.Н., Довыденко Н.И.
Кемеровское представительство ОАО «ВНИМИ»
г. Кемерово, Россия

Аннотация. Рассмотрены проблемы качества разрабатываемой проектно-технической документации, связанной с пользованием недрами, в условиях применения высокопроизводительного горно-шахтного оборудования и беспрерывного совершенствования технологических схем добычи полезных ископаемых. Повысить надежность будущей проектной документации позволит предварительная комплексная оценка специализированными организациями принимаемых предпроектных технико-технологических решений и их соответствие действующим правилам и нормам.

Ключевые слова: пласты угля, проектные решения, шахта, промышленная безопасность, газодинамические явления.

Несмотря на спад экономики и кризис, угольная отрасль Кузбасса продолжает динамично работать и развиваться, проектируются новые шахты и разрезы, выполняются проектные работы по новым участкам и "горизонтам" действующих шахт. Горные работы на многих действующих в настоящее время шахтах ведутся в непростых, порой в весьма сложных горно-геологических и горнотехнических условиях. Вполне понятно, что инженерные и технические решения, принятые при составлении проектной документации, необдуманно или ошибочно, могут привести к тяжелым последствиям при их реализации, особенно при ведении подземных горных работ. Поэтому, безопасность труда шахтеров во многом зависит от качества технического решения, принятого в паспорте или проекте, от экспертизы технической документации, реализации проектных решений.

Действующие в настоящее время Федеральные нормы и правила "Правила безопасности в угольных шахтах", утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 ноября 2013 г. N550, не устанавливают каких либо требований к проектной документации (как составу разделов, так и к полноте её содержания), подлежащей государственной экспертизе (в ФАУ "Главгосэкспертиза Рос-

сии"), согласно Градостроительному кодексу РФ от 29.12.2004 года N190-ФЗ или экспертизе Промышленной безопасности согласно ФЗ №116 от 21.07.1997 года, на основании которой в дальнейшем будет осуществляться непосредственное строительство угольных шахт, их эксплуатация и ликвидация.

С увеличением количества проектных организаций качество проектной документации заметно снижается, что влечет за собой снижение уровня промышленной безопасности при ведении горных работ и увеличению уровня аварийности и травматизма. Не является секретом и тот факт, что собственник или руководство шахты, при проектировании "навязывают" свое мнение проектировщикам и разработчикам паспортов и проектов, часто направленное на упрощенные технические решения, которые не требуют больших материальных и финансовых затрат. В этой связи, проектные организации игнорируют обязательные требования некоторых федеральных нормативных документов (Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности …", "Инструкции по газодинамическим явлениям" и др.). В лучшем случае, такие технические проекты, включающие в себя непродуманные технические решения и технологические схемы, возвращаются на доработку Главгосэкспертизой РФ, с мотивацией отступления от действующих нормативных документов. Однако, не исключается, что какая-нибудь проектная недоработка может быть на действующем предприятии принята к исполнению, что в ряде случаев уже приводило к тяжелым последствиям (например, аварии на шахтах "Ульяновская", "Юбилейная", "Распадская"). Усугубляет ситуацию и то обстоятельство, что, действующие в настоящее время Федеральные нормы и "Правила безопасности в угольных шахтах" упрощают действующие до вступления их в силу некоторые требования промышленной безопасности, и возлагают всю ответственность за своевременность и полноту выполнения мер по предупреждению возникновения аварийных ситуаций на непосредственное руководство шахты (главного инженера).

Многих ошибок и недоработок в будущей проектной документации можно избежать только после предварительной комплексной оценки специализированными организациями принимаемых технико-технологических предпроектных решений по безопасным параметрам вскрытия, подготовки и отработки запасов полезных ископаемых и их соответствие действующим правилам и нормам, в частности, в области предупреждения и борьбы с геодинамическими явлениями. Кемеровское представительство ВНИМИ успешно практикует в своих заключениях подобную оценку в части предотвращения вредных проявлений горного давления и газодинамических явлений (горных ударов и внезапных выбросов угля и газа), наиболее полного учета горно-геологических условий отработки, порядка отработки пластов в свите, выбора схем планировки пластов, направления отработки выемочных столбов, размеров целиков всех назначений, типа крепи горных выработок и других решений, находящихся в компетенции ВНИМИ.

При обращении проектных организаций необходимые рекомендации для разработки проектов выдаются непосредственно перед проектированием того или иного раздела проекта, и это, в принципе, исключает принятие необоснованных решений. Глубоко продуманные инженерные и технические решения, прошедшие предварительную оценку специализированными организациями, позволяют своевременно и без лишних затрат обеспечить прохождение такой важной стадии процесса проектирования, как Главгосэкспертиза РФ.

Анализ основных предпроектных решений по вскрытию, подготовке и отработке запасов полезных ископаемых, принимаемых в разрабатываемых технических проектах, выполняется на основании планов горных выработок с планировкой запасов в границах горных отводов, вертикальных геологических разрезов, графиков ввода и выбытия очистных и подготовительных забоев, краткой пояснительной записки с описанием предварительных проектных решений.

При выполнении анализа, основное внимание уделяется следующим основным вопросам:

1. Определяются глубины склонности пластов к горным ударам, выполняется детальное геодинамическое районирование шахтных полей и разрезов на стадиях проектирования, региональный прогноз зон активизации геомеханических процессов.

2. Оценивается принимаемый порядок отработки пластов в свите, который должен предусматривать первоочередную отработку защитных пластов в соответствии с "Перспективными геомеханическими схемами регионального управления выбросо- и удароопасным состоянием массива при разработке свит угольных пластов на шахтах Кузнецкого бассейна", Ленинград, ВНИМИ, 1990г., которые составляются ВНИМИ для каждой шахты. Опережающая отработка защитных пластов является основным региональным мероприятием по борьбе с горными ударами и внезапными выбросами угля, породы и газа. Предлагаемый порядок отработки пластов в свите должен также исключать подработку вышележащих пластов, если ожидаемые деформации подрабатываемого пласта превышают допустимые значения. Поэтому, при оценке принимаемого порядка отработки пластов в свите специалисты института выполняют необходимые расчеты и оценивают возможность первоочередной выемки наиболее производительных пластов с ценными и востребованными промышленностью запасами на данный момент.

3. Оцениваются предпроектные предложения по порядку отработки выемочных единиц в бремсберговых и уклонных полях. Здесь, в соответствии с требованиями "Инструкции по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам", 2000г., на опасных и угрожаемых по горным ударам пластах следует применять нисходящий порядок.

4. Оцениваются меры по охране подготовительных и капитальных горных выработок, исходя из срока их службы. В случае проведения подготовительных выработок спаренными забоями, разделенными между собой целиками угля, которые впоследствии будут являться межлавными целиками, даются рекомендации по их размерам с учетом угрожаемости (опасности) угольного пласта по горным ударам. Также даются рекомендации по размерам угольных целиков, оставляемых в недрах с целью охраны капитальных горных выработок, как от вредного влияния выработанных пространств, так и от взаимовлияния капитальных выработок друг на друга.

5. Оценивается направление отработки запасов угля в выемочных полях. В соответствии с требованиями "Инструкции по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам", 2000г., не допускается ведение очистных работ по направлению на напряженные угольные целики, окруженные выработанным пространством. Таким образом, должна ограничиваться отработка выемочных единиц в условиях двусторонних уклонных (бремсберговых) полей по направлению от флангов к центру. Однако, зачастую двусторонний порядок отработки запасов в выемочных полях является следствием принятия решения по наиболее рациональному расположению вскрывающих и подготавливающих выработок, в том числе относительно имеющихся старых горных работ шахт, обусловлен уменьшением затрат на подготовку шахтных полей, недопущением разрыва добычи угля и пространственным местоположением транспортной цепочки. Также необходимо учитывать размеры шахтного поля по простиранию пластов. Поэтому, отработка пластов в условиях двусторонних выемочных полей на основании заключений ВНИМИ допускается, но при этом определяется комплекс мер и рекомендаций, выполнение которых гарантированно обеспечит безопасные условия ведения горных работ.

6. Определяются меры и рекомендации по безопасному ведению горных работ в зонах повышенного риска (вблизи выходов пластов под наносы, в зонах геологических нарушений, зонах ПГД, под водными объектами и других опасных зонах).

7. Разработки рекомендаций по безопасному ведению горных работ в "особо сложных условиях", возможности отработки запасов, оставленных в различных целиках, по управлению горным давлением в очистных и подготовительных забоях, возможности применения того или иного вида крепления.

8. Разработки рекомендаций к проекту системы контроля состояния горного массива, прогноза горных ударов и внезапных выбросов как элемента многофункциональной системы безопасности.

9. Определение способов и мер охраны объектов поверхности.

В связи с изложенным, в целях повышения качества разработки проектно-технической документации, руководство ВНИМИ, являясь основным разработчиком нормативной документации по безопасному производству горных работ, предлагает в состав проектной документации включить раздел "Предпроектные технико-технологические решения по вопросам вскрытия, подготовки и отработки пластов", используемые в дальнейшем проектными организациями при разработке (выполнении) проектной документации на строительства новых и реконструкции действующих шахт.

Список литературы

1. ФЗ №116 от 21.07.1997 г ("О промышленной безопасности").
2. Закон РФ N2395-1 от 21.02.1992 г ("О недрах").
3. Градостроительный кодекс РФ от 29.12.2004 года N190-ФЗ.
4. Федеральные нормы и правила "Правила безопасности в угольных шахтах", утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 ноября 2013 г. N550.
5. Правила охраны недр (ПБ 07-601-03) 2003 г.
6. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам. М., 2000 г (РД 05-328-99).
7. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. Л., ВНИМИ, 1986 г.
8. Перспективные геомеханические схемы регионального управления выбросо- и удароопасным состоянием массива при разработке свит угольных пластов", Л., ВНИМИ, 1990 г.
9. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. С.-Петербург, ВНИМИ, 1993 г.

УДК 622.831

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПРОЯВЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

д.т.н. Зыков В.С.
ОАО «Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – Межотраслевой научный центр ВНИМИ», Кемеровское представительство, г. Кемерово, Россия

Аннотация. Описаны проявления динамических явлений, общие для различных их видов, такие, как интенсивное выделение газа в процессе явления, разрушение вглубь горного массива. Определены условия возникновения каждого из явлений, их отличительные признаки, позволяющие устанавливать вид каждого из произошедших динамических явлений при его расследовании. В предлагаемой статье последовательно описано развитие представлений о видах энергии, реализуемой при возбуждении и протекании динамических явлений в угольных шахтах, категориях (классах) и видах явлений. В результате предложена более полная классификация динамических явлений в шахтах, имеющая большое научное и практическое значение.

Ключевые слова: динамическое явление, энергия угля, пород, газа, сейсмических волн, классы и виды динамических явлений в шахтах, классификация явлений.

Наибольшую опасность и сложность среди динамических явлений (ДЯ), происходящих на угольных шахтах, представляют внезапные выбросы угля и газа и горные удары. По этой причине изучению именно этих двух явлений и исследованиям по разработке мероприятий по их предупреждению при ведении горных работ уделялось наибольшее внимание. Механизм этих явлений теоретически хорошо проработан, разработаны методы их прогноза и способы предотвращения.

Однако, существует еще множество других ДЯ, имеющих место при проведении подземных горных выработок на угольных пластах. По этим явлениям в целом исследования проводились весьма ограниченно. Хотя последствия наиболее крупных из них бывают сравнимы с последствиями внезапных выбросов и горных ударов.

Основоположником теории возникновения и развития внезапных выбросов угля и газа и направлений борьбы с ними Ходотом В.В. в его известной монографии [1] «динамическим явлением в каменноугольной шахте» названо «внезапное сдвижение или выброс угля или породы и заключенных в них жидкостей и газов, протекающие со значительным динамическим (силовым) эффектом».

Ходот В.В. считал установившийся термин «динамические явления в шахтах» весьма условным и объяснял эту точку зрения тем, что, «строго говоря, все явления, имеющие место в окрестности горных выработок, являются динамическими». Более точным, с его точки зрения, к рассматриваемым явления был бы применим термин «мощные динамические явления».

Динамические явления по вызывающим их причинам Ходот В.В. делил на три категории: явления, происходящие в результате совместного проявления давления горных пород и заключенного в угле газа; явления, возбуждаемые только давлением горных пород; явления, возбуждаемые только давлением газов, жидкостей или плывучих пород. К первой категории он относил только внезапные выбросы угля и газа, ко второй – горные удары, внезапные обрушения, воздушные удары, внезапные высыпания, внезапные отжимы и раздавливания угля, стреляния угля и горных пород, к третьей категории – прорывы газа через горные породы, суфляры, прорывы воды, плывунов, заиловочной массы (пульпы) и глины. Он утверждал, что, если явления второй категории приурочены к газонасыщенному угольному пласту, то они протекают с попутным газовыделением и их трудно отличить от внезапных выбросов угля и газа.

Примерных взглядов на природу динамических явлений в шахтах придерживались и другие исследователи, работающие по данной проблеме. Однако следует отметить, что в 1990-х годах при разработке специальной комиссией, созданной Рабочей группой по углю Европейской экономической комиссии, классификации динамических явлений в шахтах предложенные Ходотом В. В. категории явлений претерпели существенные изменения.

Классификация была представлена на Международном симпозиуме по горным ударам и внезапным выбросам в шахтах в 1994 г. в г. Санкт-Петербурге [2]. Положения этой классификации представлены блок-схемой на рис. 1 и табл. 1.

В международной классификации в категории явлений, возбуждаемых давлением газа, жидкости или плывучих пород, последние два источника возбуждения исключены. Это обусловило то, что из данной категории должны исчезнуть прорывы воды, плывунов, заиловочной массы (пульпы) и глины. Непонятно, чем это обосновано. Эти явления периодически происходят, отличаются высокой динамикой их протекания, приводят иногда к жертвам. Тот довод, что возможность их проявления гораздо проще просчитать, чем, например, возможность внезапного выброса или горного удара, не может служить обоснованием их исключения из числа динамических явлений. Есть и другие виды явлений, которые прогнозируются проще выбросов и ударов, однако они остаются в рамках классификации.

Этой точке зрения соответствует определение динамического явления в терминологическом словаре «Горное дело» [4] как «внезапно возникающего и протекающего с вы-

сокой скоростью движения угля, пород, газов или жидкостей вблизи выработок, сопровождающегося сильным динамическим эффектом».

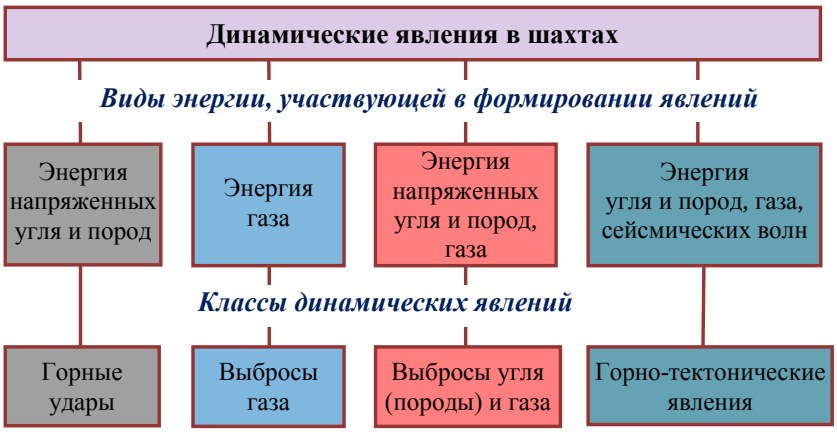


Рис. 1. Классификация геодинамических явлений в шахтах

Таблица 1

Определение подкласса динамического явления

Подкласс	Горные удары	Выбросы	
	вес разрушенного угля, т	вес разрушенного угля (породы), т	объем выброшенного газа, м^3
Слабые	<5	<10	<100
Средние	5 – 100	10 – 200	100 – 1000
Сильные	100 – 1000	200 – 2000	1000 – 10000
Катастрофические	>1000	>2000	>10000

Позднее для каждого класса были расписаны виды явлений [3] (рис. 2).

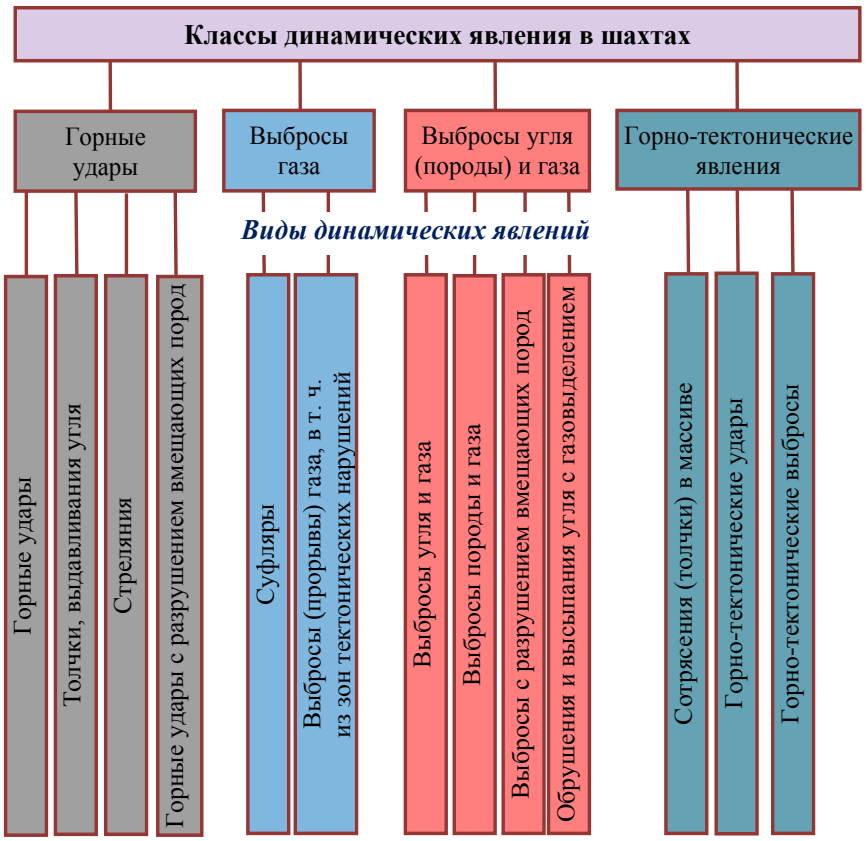


Рис. 2. Классы и виды динамических явлений

В то же время добавлен еще один комплексный источник энергии – энергия угля и пород, газа и сейсмических волн. Это обусловлено тем, что в результате расследования динамических явлений были установлены два их новых вида, в числе источников возбуждения которых особую роль играет энергия сейсмических волн – горно-тектонический удар и горно-тектонический выброс. Энергия сейсмических волн выделяется при толчкообразном деформировании горного массива и приводит в опасных местах к потере устойчивости горного массива. Сейсмическая энергия повышает энергозапас системы в большей степени, чем увеличивается энергопотребление разрушаемого элемента. Поэтому катастрофичность проявления горно-тектонических удара и выброса возрастает по сравнению с их проявлениями без участия сейсмической энергии толчка. Горно-тектонические удары отличаются повышенной интенсивностью и проявляются обычно одновременно в ряде горных выработок и даже соседних шахт.

Добавились в международной классификации явлений по сравнению с перечисленными Ходотом В. В. толчки, выделены отдельно горные удары с разрушением вмещающих пород, зарегистрированные уже после разработки Ходотом В.В. своей классификации выбросы породы и газа, выбросы с разрушением вмещающих пород.

Учитывая вышеизложенные замечания к международной классификации динамических явлений, нами были выполнены и представлены в печати работы по ее совершенствованию [5, 6]. Последняя версия усовершенствованной классификации опубликована в работе [7].

При расследовании происшедших динамических явлений очень важно правильно установить вид явления, поскольку от этого зависит выбор мероприятия по предупреждению данных явлений при дальнейшем ведении горных работ. В этой связи ниже описаны установленные на основе анализа общие проявления и отличительные особенности ДЯ, включенных в усовершенствованную их классификацию (табл. 2).

Таблица 2

Условия возникновения и отличительные особенности различных видов ДЯ

Характеристики динамических явлений
I. Класс «Выбросы газа»
1. Суфляр – высокое стабильное выделение газа из видимых пустот и трещин. **Условия возникновения.** Газоносные угольные пласты с наличием внутрипластовых пустот и развитых трещин, как правило, имеющих подпитку из зоны крупного геологического нарушения. **Отличительные особенности.** Газовыделение с медленным снижением продолжается от нескольких часов до нескольких месяцев. Поражающий фактор – загазирование выработки. **Предупредительные признаки.** Звуковые эффекты в массиве (шипение, свист, клокотание), выбросы воды газом из скважин. **Особенности протекания.** Выделение газа с медленным снижением его интенсивности от нескольких часов до нескольких месяцев.
2. Внезапный прорыв газа из зоны геологического нарушения – интенсивное кратковременное выделение большого объема газа из прилежащей к тектоническому нарушению зоны угольного пласта. **Условия возникновения.** Вскрытие тектонического нарушения при воздействии на забой выемочным механизмом или при буровзрывных работах (БВР). Высокая газоносность пластов. **Предупредительные признаки.** Повышение газовыделения в выработку при бурении шпуров (скважин) или выемке угля. **Отличительные особенности.** Наличие трещин и пустот в пласте и боковых породах. Кратковременное протекание, большое количество выделившегося газа при небольшом объеме разрушенного угля. Разрушение и вынос разрушенного угля в выработку. Относительное газовыделение более чем в 3 раза выше природной газоносности угля. Преобладание крупных фракций угля в разрушенной массе. Возможны удар в массиве, сопровождающийся воздушным толчком, опрокидывание вентиляционной струи. Повреждение крепи и оборудования, как правило, отсутствует, наблюдается вскрытое выработкой геологическое нарушение, являющееся коллектором газа.

Характеристики динамических явлений
II. Класс «Горные удары и обрушения (высыпания)»
3. Горный удар – мгновенное хрупкое разрушение целика или краевой части угольного массива с отбросом угля в выработку и попутным выделением газа. **Условия возникновения.** Пласт представлен крепким однородным углем. Высокая прочность боковых пород. Зона ПГД. Отработка оставленных целиков угля. Зона влияния тектонического нарушения. **Предупредительные признаки.** Отсутствуют. **Отличительные особенности.** Образование полости, ширина которой больше ее глубины. Отброс разрушенного угля на небольшое расстояние. Преобладание в разрушенном угле крупных кусков и фракций. Наличие щели между угольным пластом и кровлей. Нарушение крепи, смещение или повреждение механизмов и оборудования. Резкий звук, сотрясение массива. Повышенное газовыделение на газоносных пластах.
4. Внезапное выдавливание – быстропротекающий процесс отторжения угля от массива под действием горного давления из призабойной части пласта в выработку. **Условия возникновения.** Сложенные крепким однородным углем пласты с боковыми породами высокой прочности в зонах повышенного горного давления, сформировавшиеся вследствие влияния оставленных на данном или соседних пластах целиков угля; влияние близко расположенных геологических нарушений разрывного типа. **Предупредительные признаки.** Отсутствуют. **Отличительные особенности.** Слабые горные удары, представляющие собой хрупкое разрушение угля вблизи кромки пласта. Отжатый уголь смещается в выработку на небольшое расстояние, отдельные его элементы могут не терять связи между собой. Выдвижение угля происходит без видимого разрушения.
5. Стреляние – хрупкое разрушение и отскакивание кусков угля (породы) на обнажениях напряженных участков горного массива, сопровождаемое резким звуком. **Условия возникновения.** Напряженное состояние массива горных пород, высокие прочностные и упругие свойства угля и боковых пород, высокая концентрация напряжений на кромке пласта в забое. **Предупредительные признаки.** Отсутствуют. **Отличительные особенности.** Хрупкое разрушение и отскакивание кусков угля (породы) на обнажениях напряженных участков горного массива, сопровождающееся резким звуком.
6. Горный удар с разрушением вмещающих пород – мгновенное хрупкое разрушение слоя породы или угля в почве (кровле) подготовительной выработки, сопровождающееся частичным или полным заполнением выработки разрушенной породой (углем), сотрясением массива, резким звуком и пылеобразованием. **Условия возникновения.** Наличие в почве (кровле) выработки слоя крепкой, упругой породы (угля), склонной к хрупкому разрушению, ниже которого обычно залегает более слабая порода (уголь). Ширина выработки, где произошло явление, равна более 1,5 *m*, но менее 4 *m* (*m* – мощность слоя породы или угля, склонного к разрушению в форме горного удара). **Предупредительные признаки.** Отсутствуют. **Отличительные особенности.** Мгновенное хрупкое разрушение в почве (кровле) подготовительной выработки, сопровождающееся частичным или полным заполнением выработки разрушенной породой, сотрясением массива, резким звуком и пылеобразованием. В случае залегания ниже разрушающего слоя породы (угля) газоносного или выбросоопасного пласта возможны внезапное выделение газа или внезапный выброс угля и газа.
7. Обрушение (высыпание) угля – разрушение под действием гравитационных сил нависающей призабойной части угольного массива, сопровождающееся на газоносных пластах загазированием выработки, часто сверх допустимой концентрации газа. **Условия возникновения.** Крутые или круто наклонные пласты большой мощности, часто в зонах геологических нарушений. **Предупредительные признаки.** Осыпание мелкого угля, отслаивание угля из нависающего массива. **Отличительные особенности.** Отброса угля не происходит, высыпавшийся мелкий или обрушившийся кусковатый уголь располагается под углом естественного откоса. Газовыделение кратковременное, его величина равна или незначительно превышает разность между природной

Характеристики динамических явлений

и остаточной газоносностью обрушившегося угля. Полость ориентирована по линии восстания пласта или, на пологом мощном пласте, по вертикали и имеет куполообразную форму.

8. Обрушение кровли в очистном забое – происходящее с сильным динамическим эффектом периодическое обрушение основной, как правило, труднообрушаемой кровли, управляемой способом полного обрушения.

Условия возникновения. Наличие труднообрушаемой кровли большой мощности.

Предупредительные признаки. Неожиданный гул и треск в кровле и осыпание мелких частиц породы в кровле непосредственно перед ее обрушением.

Отличительные особенности. Обрушение консоли зависшей кровли с обрезом ее непосредственно по кромке забоя. При высокой газообильности выработки возможен выхлоп газа в прилегающие к лаве выработки с нарушением вентиляционного режима и превышением допустимой концентрации газа.

III. Класс «Выбросы угля (породы) и газа»

9. Внезапный выброс угля и газа – быстропротекающий лавинообразный процесс разрушения угольного массива горным и газовым давлением и отброса тонкоизмельченного угля газом в выработку.

Условия возникновения. Газоносные пласты ниже критической по внезапным выбросам угля и газа глубины, имеющие пачку угля тектонически нарушенной структуры мощностью 0,2 м и более, как правило, в зоне геологического нарушения.

Предупредительные признаки. Звуковые эффекты в призабойной части массива (треск, удары), отскакивание и шелушение угля на поверхности забоя, повышенное газовыделение в выработку при отбойке угля, зажим штанг, вынос штыба газом при бурении.

Отличительные особенности. Выброс разрушенного угля в выработку на расстояние, превышающее протяженность его возможного размещения под углом естественного откоса с образованием в конце откоса, на его поверхности, а также на крепи и оборудовании тонко измельченного до пылевидного состояния угля – бешеной муки. В момент выброса ощущается «толчок газа», на диаграмме АКМ фиксируется резкий, часто вертикальный подъем концентрации метана в забое и на исходящей до величины выше предельной для датчика. Газовыделение превышает природную газоносность, иногда происходит опрокидывание вентиляционной струи. Полость выброса имеет размер по глубине больше, чем по ширине, у устья полость сужена, часто имеет грушевидную форму. Газовыделение при выбросе превышает 30 $м^3$ на 1 т выброшенного угля.

10. Внезапный выброс породы и газа – лавинообразный процесс разрушения породного массива с выносом и перемещением породы по выработке потоком выделяющегося газа.

Условия возникновения. Газонасыщенные высокопористые песчаники. Проведение выработок буровзрывным способом в зоне геологического нарушения.

Предупредительные признаки. Газонасыщенные высокопористые песчаники. Проведение выработок буровзрывным способом в зоне геологического нарушения.

Отличительные особенности. Породный массив разрушен за контуром выработки. Часть отброшенной от забоя породы измельчена до размеров крупнозернистого песка. Образовавшаяся полость оконтурена породой, расслоившейся на тонкие чешуеобразные пластинки. Повышенное газовыделение в выработку по сравнению с обычным его уровнем, воздушный толчок, сотрясение массива. Угол откоса вынесенной газом породы меньше естественного. Возможно повреждение машин, крепи.

11. Внезапный отжим угля с повышенным газовыделением – быстропротекающий процесс отжима угля горным и газовым давлением из призабойной части пласта в выработку.

Условия возникновения. Относительно прочные газоносные пласты.

Предупредительные признаки. Звуковые эффекты в призабойной части массива (треск, удары), повышенное газовыделение при отбойке угля, зажатие инструмента при бурении.

Отличительные особенности. Отжатый уголь смещается в выработку на небольшое расстояние, отдельные его элементы могут не терять связи между собой. Во многих случаях между кровлей и пластом образуется щель, заполненная тонко измельченным углем. Может образоваться в массиве полость глубиной меньше ширины. Не исключается повреждение крепи и оборудования. Газовыделение значительно превышает обычный уровень, по характеру оно бывает близким к газовыделению при внезапном выбросе.

12. Внезапный выброс газа с разрушением вмещающих пород – прорыв газа в прилегающее к забою выработанное пространство из над- или подрабатываемого пласта через вме-

Характеристики динамических явлений

щающие породы.

Условия возникновения. Зона влияния геологического нарушения. Наличие нижележащих пластов с пачками тектонически нарушенного угля с высокими значениями газоносности и пластового давления газа. Наличие труднообрушаемой кровли. Большая площадь обнажения пород почвы (кровли). Ведение горных работ в зоне ПГД.

Предупредительные признаки. Звуковые эффекты в массиве. Интенсивное пучение почвы. Повышенное давление на крепь.

Отличительные особенности. Образование зияющих трещин, ориентированных по нормали или под некоторым углом к напластованию пород и, как правило, вдоль линии очистного забоя или продольной оси подготовительной выработки. Поднятие пород почвы. Повышенное выделение газа в горную выработку, иногда с кратковременным опрокидыванием вентиляционной струи. Звуковые эффекты, упругие колебания почвы. Возможны повреждения крепи и оборудования. Основным поражающим фактором является газ.

13. Внезапный выброс газа из угольной пачки за контуром выработки – прорыв газа в призабойное пространство выработки из тектонически нарушенной угольной пачки с разрушением слоя прочного угля между выработкой и этой пачкой.

Условия возникновения. Проведение подготовительной выработки по углю комбайновым способом у кровли пласта при наличии на удалении от почвы выработки у почвы пласта тектонически нарушенной угольной пачки, отделенной от выработки слоем прочного угля.

Предупредительные признаки. Отсутствуют.

Отличительные особенности. Мгновенное поднятие почвы выработки на протяжении полутора десятков метров от забоя подъемом многотонного работающего проходческого комбайна под кровлю выработки и выбросов в атмосферу выработку нескольких тысяч $м^3$ метана. Возможны взрывы метановоздушной смеси.

IV. Класс «Горно-тектонические явления»

14. Горно-тектонический удар – мгновенное хрупкое разрушение породы или угля в глубине массива с возникновением сейсмической волны с энергией 10^3-10^{10} Дж и более, вызывающей хрупкое разрушение краевой части массива или целика угля в форме горного удара.

Условия возникновения. Те же, что и при обычных горных ударах, но при обязательном наличии толчкообразного деформирования горного массива с появлением сейсмических волн с энергией свыше 10^3 Дж.

Предупредительные признаки. Отсутствуют.

Отличительные особенности. Горно-тектонический удар отличается от обычного горного удара повышенной интенсивностью, проявлением одновременно в ряде горных выработок шахты или еще и соседних шахт. Характер разрушения выработок (целиков) и поражающего действия такие же, как и при обычных горных ударах. Но может проявляться более интенсивно.

15. Горно-тектонический выброс – мгновенное хрупкое разрушение породы (угля) в глубине массива с возникновением сейсмической волны с энергией от 10^3Дж и более, вызывающей хрупкое разрушение угольного пласта, переходящее во внезапный выброс угля и газа.

Условия возникновения. Те же, что и при внезапных ввыбросах угля и газа, но при обязательном наличии толчкообразного деформирования горного массива с появлением сейсмических волн с энергией свыше 10^3 Дж.

Предупредительные признаки. Те же, что и при внезапных выбросах.

Отличительные особенности. Горно-тектонический выброс отличается от внезапного выброса угля и газа повышенной мощностью и интенсивностью газовыделения. Характер разрушения выработок и оборудования и поражающего действия такие же, как и при обычных внезапных выбросах. Но может проявляться более интенсивно.

16. Толчок (горный удар внутреннего действия) – мгновенное хрупкое разрушение угля в глубине массива без последующего выноса в выработку разрушенного материала (иногда внезапное выдвижение части массива в выработку без видимого разрушения).

Условия возникновения. Те же, что и при горных ударах. Наличие широко развитой зоны угля, перешедшего в предельно-напряженное состояние.

Предупредительные признаки. Отсутствуют.

Отличительные особенности. Сопровождается глухим звуком, сотрясением массива. На газовых пластах может сопровождаться попутным газовыделением. Ощущается вибрирование горного

Характеристики динамических явлений
массива, вызванное толчкообразным его деформированием.
V. Класс «Прорывы воды и водонасыщенных пород»
17. Прорыв воды из водного объекта – неожиданное разрушение под действием веса воды предохранительного или барьерного целика, отделяющего горные выработки от водного объекта, с прорывом воды в выработки. **Условия возникновения.** Участок горного массива в зоне влияния водного объекта (водотока, водоема, водоносного горизонта, обводненными зонами), в пределах которого при ведении горных работ возможен прорыв воды и затопление выработок или недопустимое увеличение притока воды в выработки. **Предупредительные признаки.** «Потение» забоя, усиление капежа, отслаивание влажных кусочков угля или пород от боков и кровли выработок, иногда с появлением фонового шума. **Отличительные особенности.** Высокодинамичное движение водяной массы из водного объекта в действующую выработку.
18. Прорывы воды из затопленных выработок – неожиданное разрушение барьерного или предохранительного целика, отделяющего действующую выработку от затопленной, с прорывом воды в действующую выработку. **Условия возникновения.** Участок горного массива в зоне влияния затопленной горной выработки, в том числе технической скважины, в пределах которого при ведении горных работ возможен прорыв воды и затопление выработок или недопустимое увеличение притока воды в выработки. **Предупредительные признаки.** Те же, что и при прорывах воды из водного объекта. **Отличительные особенности.** Высокодинамичное движение водяной массы из затопленной выработки в действующую выработку.
19. Прорывы плывунных пород – усиленное поступление в горную выработку рыхлых водонасыщенных пород, обладающих плывунными свойствами, происходящее в результате самопроизвольного или принудительного разрушения водоупорных пород в выработке. **Условия возникновения.** Проведение горной выработки в опасной зоне влияния плывунных пород, в пределах которой возможен их прорыв в выработку. **Предупредительные признаки.** Резкое усиление горного давления, повышенные деформации стенок выработки. **Отличительные особенности.** Быстрое движение большой массы плывунных пород в действующую горную выработку.
20. Прорывы глины и пульпы – неожиданное разрушение под действием горного давления и гравитационных сил целиков, разделяющих заполненные глиной или пульпой пустоты, с прорывом глины или пульпы в горные выработки. **Условия возникновения.** Проведение горной выработки под заиленными участками, расположенными в том же пласте или в вышележащем, находящемся на расстоянии по нормали менее 5,0 m, где m − мощность нижележащего пласта. **Предупредительные признаки.** Капеж, резкое усиление горного давления, деформация изоляционных перемычек, обнаружение глины при разведке за перемычками. **Отличительные особенности.** Движение глины и пульпы с большой мощностью и скоростью из заполненных глиной и пульпой пустот в действующую горную выработку.

Для обозначения некоторых из происходящих в шахтах динамических явлений применяется еще термин «газодинамические явления». Согласно [3], они представляют собой разрушения массива горных пород под влиянием горного давления, сопровождающиеся кратковременным выделением газа, и к ним отнесены внезапные выбросы угля (породы) и газа, внезапные выдавливания (отжимы) угля с повышенным газовыделением, внезапные обрушения (высыпания) угля с повышенным газовыделением. При этом указано, что они составляют часть динамических явлений в шахтах.

В то же время в «Методических указаниях по классификации газодинамических явлений на угольных шахтах» [8] к газодинамическим отнесены следующие явления: суфляры; внезапные прорывы газа из зоны геологического нарушения; внезапные разрушения пород почвы с выносом метана и угля; внезапные выбросы угля и газа; внезапные выбро-

сы породы и газа; внезапные обрушения (высыпания) угля с повышенным газовыделением; внезапные выдавливания (отжимы) угля с повышенным газовыделением; горные удары; толчки; стреляния; горно-тектонические удары; горные удары с разрушением пород почвы (кровли) выработки.

Данная классификация газодинамических явлений, если не принимать во внимание незначительные отличия в названиях одних и тех же явлений, практически повторяет международную классификацию геодинамических явлений в шахтах. Создается впечатление, что нет необходимости в существовании отдельной классификации газодинамических явлений.

Однако, это не так. В принципе, любое из динамических явлений, в результате которого происходит разрушение в угольном массиве, сопровождается на газоносных пластах попутным выделением газа, и, при больших масштабах разрушения, газа выделяется много. Но газодинамическим явлением может называться только такое ДЯ, где газовый фактор наряду с фактором горного давления проявляется в механизме явления и, в большей или меньшей мере, определяет возникновение явления, его протекание и вид.

Исходя из этой позиции, к газодинамическим явлениям относятся все явления, представляющие класс «выбросы угля (породы) и газа» (4 явления) и одно явление – горно-тектонический выброс из класса горно-тектонические явления.

Таким образом, в результате выполненной нами работы удалось с достаточной полнотой на настоящий момент времени систематизировать происходящие на угольных шахтах динамические и газодинамические явления, что важно с научной точки зрения и может использоваться на практике для определения вида происшедшего явления и правильного выбора мер для предупреждения подобных явлений при дальнейшем ведении горных работ.

Список литературы

1. Ходот В. В. Внезапные выбросы угля и газа. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 363 с.

2. Петухов И. М., Батугина И. М. Геодинамика недр. – М.: Недра Коммюникейшенс ЛТД, 1999. – 287 с.

3. Российская угольная энциклопедия. Т. 1 – М.-СПб: ВСЕГЕИ, 2004. – 649 с.

4. Горное дело: Терминологический словарь. 4-е изд, перераб. и доп. / Г. Д. Лидин, Л. Д. Воронина, Д. Ф. Каплунов и др. − М.: Недра, 1990. – 694 с.

5. Зыков В. С., Абрамов И. Л. Динамические явления в угольных шахтах и их классификация // «Маркшейдерия и недропользование». – № 4. – 2012. С. 57-59.

6. Зыков В. С., Абрамов И. Л., Торгунаков Д. В. Статистика динамических явлений в шахтах и уточнение их классификации // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). − Отдельный выпуск 6. − 2013. − С. 297-319.

7. Зыков В.С., Абрамов И.Л. Виды динамических явлений в шахтах и их классификация / Уголь и Майнинг 2014. Международная научно-практическая конференция: Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Сборник научных статей. Новокузнецк: СибГИУ. – 2014. – С. 275-282.

8. Методические указания по классификации газодинамических явлений на угольных шахтах / А. И. Бобров, Л. А. Вайнштейн, М. А. Ильяшов и др. / МакНИИ /; И. М.Петухов, В. П. Кузнецов / ВНИМИ /; И. В. Сергеев, О. И. Хмара / ИГД им. А. А. Скочинского /, В. И. Мурашев, В. С. Зыков / ВостНИИ/; В. Е. Зайденварг, А. М. Обрезан /Минуглепром СССР /; В. Я. Привыко Госгортехнадзор РСФСР /; С. П. Ткачук / Укркомгосгортехнадзор УССР / – Донецк: ЦБНТИ Минуглепрома СССР, 1991. – 18 с.

УДК 662.61/662.6/9

РАЗРАБОТКА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ

Казимиров С.А., к.т.н. Багрянцев В.И., Бровченко С.А., д.т.н. Темлянцев М.В.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена возможность сжигания угольных шламов с помощью вихревых технологий. Представлены достоинства и недостатки этой технологии. Рассмотрен агрегат для сжигания угольных шламов, созданный в Сибирском государственном индустриальном университете. Предложена технологическая схема подготовки отходов углеобогащения к сжиганию.

Ключевые слова: топка, угольные шламы, вращающийся слой, частица, вихревые технологии, топливоподготовка

В настоящее время значительная часть добываемого угля подвергается процессу обогащения. На большинстве обогатительных предприятий применяется мокрое обогащение, которое основано на различии плотности самого угля и более легких примесей. В результате этого способа в технической оборотной воде накапливается мелкий уголь (шлам) крупностью 0–1 мм. На углеобогатительных фабриках шламы направляются чаще всего в наружные секционные отстойники. В этих отстойниках отходы углеобогащения осаждаются и уплотняются. После достижения в шламах влажности 45 % их удаляют грейфером из отстойников в илонакопитель (хвостохранилище). Из-за отсутствия сбыта эти отходы накапливаются в илонакопителях и отвалах обогатительных фабрик, занимая значительные площади полезных территорий и негативно влияя на окружающую среду.

При этом шламы могут рассматриваться как энергетическое топливо. Количество горючих компонентов в угольных шламах может достигать от 30 до 86 % [1]. Однако, мелкодисперсность, высокая влажность и зольность шлама затрудняют его использование в качестве топлива на действующих котельных установках. На действующих агрегатах используются три способа сжигания топлива: слоевой, в кипящем или псевдоожиженном слое и факельный. Сжигание угольных шламов с помощью этих технологий имеют свои существенные недостатки, не позволяющие им получить широкое применение на практике. Однако существует четвертый способ сжигания – циклонный или вихревой, который получил меньшее распространение. Одним из конкурентных преимуществ последнего является возможность сжигать топливо, имеющее высокое содержание золы, мелких частиц, а также большое количество влаги [2].

Вихревой принцип сжигания не позволяет частицам угля находиться в покое и поэтому по сравнению с плотным слоем горение проходит более равномерно, при этом присутствие мелких частиц предпочтительно, более того рациональное отношение доли мелких частиц к крупным составляет 70–80 % (рис. 1).

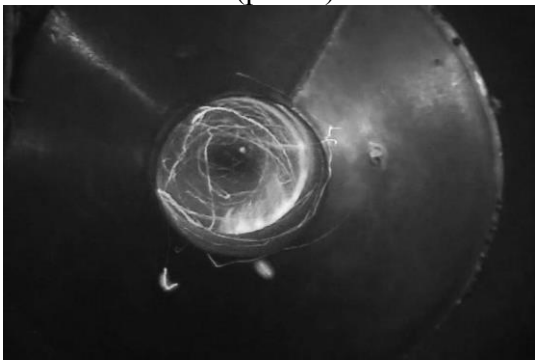


Рис. 1. Сжигание топлива в вихревой топке

В таких условиях топливо горит устойчиво. Вращающийся слой позволяет достичь хорошего взаимодействия потока воздуха с частицами угля. Площадь горения существенно возрастает, а поверхность его постоянно обновляется.

Основной недостаток рассматриваемой технологии – для поддержания устойчивого вращающегося слоя необходимо иметь калиброванные частицы. В топку подается предварительно подготовленное дробленое топливо, при этом диаметр частиц не должен превышать определенного значения.

При подаче такого материала в вихревую топку происходит разделение частиц на два потока. Мелкие частицы вихрем подхватываются и выносятся на границу вращающегося слоя и далее медленно смещаются к центру. В этом случае сила аэродинамического сопротивления превышает центробежную силу. Доля таких частиц не должна превышать 10–20 %, чтобы не разрушить вихревое движение за счет поддержания их перемещения потоком вихря и за счет увеличения объема продуктов горения при нагреве.

Мелкие частицы сгорают быстрее, что обеспечивает устойчивое горение. Крупные частицы движутся в окрестности стенки. Горение сравнительно крупных частиц протекает при значительно более высокой температуре на поверхности угольной частицы, так как отвод тепла с поверхности меньше. Тепло передается стенке за счет излучения и конвекции. Размер частиц определяет время горения, что задает габариты топки. Такие топки более сложны в изготовлении, но позволяют сжигать любое топливо практически полностью и с высокой тепловой напряженностью.

Для получения топки с высокой тепловой напряженностью необходимо топливо с высоким содержанием летучих компонентов или как можно более мелкодисперсное. В работе [3] показано, что коксовая частица горит довольно медленно, при этом время ее нахождения в топке может быть значительно меньше времени полного сгорания.

В Сибирском государственном индустриальном университете был спроектирован и изготовлен агрегат, в основе которого состоит вихревой способ сжигания [4]. Разработанная теплогенерирующая установка предназначена для использования в качестве топлива отходов углеобогащения.

Поскольку теплотворная способность угольных шламов значительно ниже, чем у традиционных видов топлива, в тепловой установке процессы сжигания, генерации тепла и нагрева теплоносителя разделены: сжигание реализовано в отдельной топке, теплообменник вынесен за пределы топочного объема как самостоятельный агрегат. В пользу такого решения служит то обстоятельство, что значительная часть отходов углеобогащения имеет высокое содержание золы, доходящее в некоторых случаях до 40 %. В связи с этим теплообменная часть агрегата должна быть приспособлена к большим потокам (расходам) твердого материала. Здесь же конструктивно решается вопрос улавливания золы, которая находится в пылевидном состоянии. Внешний вид разработанной цилиндрической вихревой топки представлен на рис. 2.

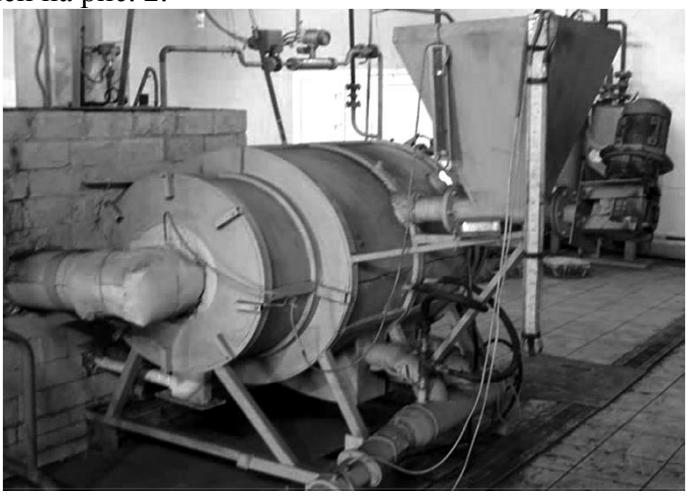


Рис. 2. Внешний вид разработанной вихревой топки

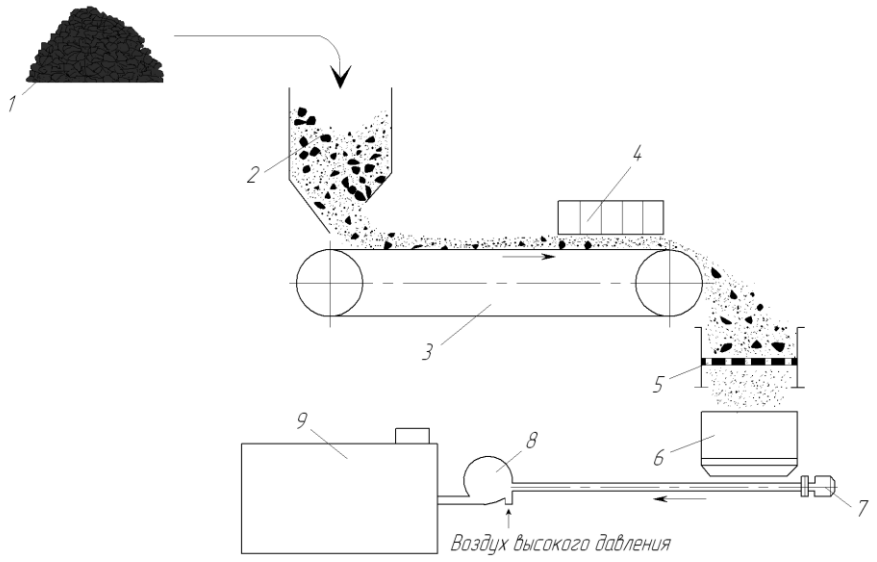
В торцевой стенке топки в нижней части выполнено окно для розжига и удаления золы. Дисперсное топливо подается в топку шнековым питателем. Регулирование его расхода выполняется при помощи частотного преобразователя. Диапазон изменения частоты 10–50 Гц.

Топливо в топку подается потоком воздуха из вихревой мельницы. Закрученный газовый поток создается неподвижными лопатками закручивающего аппарата при прохождении через них потока дутьевого воздуха. Дутье обеспечивает специальный напорный вентилятор. С целью повышения КПД топки и сокращения расхода топлива предусмотрен подогрев воздушного дутья до 100 °С. Потоки смеси воздуха и твердых частиц направлены в одну сторону. Высокая интенсивность тепло- и массообменных процессов в системе газ – твердое топливо обеспечивает высокие скорости горения с эффективностью сжигания не менее 95 % [5].

Продукты сгорания с температурой более 1000 °С эвакуируются из топки по двум газоходам, расположенным с торцов топки. С продуктами сгорания из топки во взвешенном состоянии удаляется мелкая (летучая) зола (фракции до 40 мкм). Ее доля в общей массе золы составляет до 70 %. Более крупная зола (фракции 40 – 100 мкм) концентрируется по периферии вихревого потока и удаляется через щелевой канал по специальным течкам на шнековый конвейер золоудаления в узел утилизации золы.

Основные требования к топливу при сжигании отходов углеобогащения следующие: гранулометрический состав представлен фракцией 0–10 мм (содержание фракции 0–5 мм не менее 70 %), влажность и зольность на рабочую массу не более 17 и 45 % соответственно, выход летучих не менее 11 %; низшая теплота сгорания не менее 4000–5200 ккал/кг (16,6–21,6 МДж/кг).

Чтобы угольные шламы соответствовали этим требованием должна быть организована предварительная сжиганию топливоподготовка. При этом в иланакопителях со временем накапливается большое количество мусора и других не угольных отходов. Эти элементы необходимо извлекать из шламов. На рис. 3 изображена схема, показывающая оборудование и операции, через прохождение которых щламы подаются в вихревую топку.



1 – шламы; 2 – загрузочный бункер; 3 – конвейерная лента; 4 – магнитный сепаратор; 5 – грохот; 6 – бункер и дозатор очищенных шламов; 7 – шнек; 8 – вихревая мельница; 9 – вихревая топка

Рис. 3.Схема топливоподготовки угольных шламов для сжигания

Первой стадией подготовки угольных шламов является их очищение от нежелательных металлических включений. Для этого шламы через загрузочный бункер *2* рассеи-

ваются на конвейерной ленте *3*. Над лентой устанавливается магнитный сепаратор *4*, позволяющий удалять металлические элементы. После прохождения ленты шламы поступают на грохот *5*. Величина сита при этом должна быть не более 5 мм. С помощью грохота удаляется различный мусор, а также угольные куски крупной фракции. Очищенный таким образом шлам направляется в бункер *6* для хранения. Из этого бункера с помощью дозатора берется необходимое для сжигания количество топлива. Для транспортирования шламов из бункера используется шнек *7*. Шнек доставляет угольные отходы до вихревой мельницы *8*, где осуществляется окончательный размол топлива до нужной фракции. Кроме этого, воздух высокого давления, подаваемый в мельницу, должен иметь температуру 100-150 °С, что обеспечит сушку шламов, влажность которых может достигать 22–24 %. Из мельницы подготовленные шламы поступают непосредственно в вихревую топку.

Таким образом, использование теплоэнергетической установки, включающую в себя топливоподготовку и последующее сжигание в вихревом агрегате, может рассматриваться как перспективный способ утилизации угольных шламов. При этом получение тепловой энергии из отходов позволит сократить затраты на традиционные теплоносители, а также снизить нагрузку на окружающую среду.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки на выполнение СибГИУ научно-исследовательской работы № 2555

Список литературы

1. Серегин А.И., Горлов Е.Г. Разработка технологических схем переработки угольных шламов в товарную продукцию // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2009. – №9. – С. 342–346.

2. Разработка агрегата и технологии для эффективного сжигания дисперсных отходов углеобогащения во вращающемся потоке воздуха / В.И. Багрянцев, С.А. Бровченко, А.П. Подольский, А.А. Рыбушкин, М.В. Темлянцев, С.А. Казимиров // Вестник СибГИУ, 2013 – № 4. – С. 36–41.

3. Основы практической теории горения / Под ред. В.В. Померанцева. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 309 с.

4. Практика и перспективы использования твердых углеродсодержащих отходов в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов / В.И. Багрянцев, С.А. Казимиров, А.И. Куценко, А.П. Подольский, А.А. Рыбушкин, М.В. Темлянцев // Вестник СибГИУ, 2013. – № 3. – С. 33–38.

5. Разработка конструкции импульсной вихревой топки, использующей в качестве топлива низкосортные угли и отходы углеобогащения / С.А. Казимиров, В.И. Багрянцев, С.А. Бровченко, А.А. Рыбушкин // Инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации»: материалы Инновационного конвента / Сиб. гос. индустр. ун-т. – Кемерово; Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – с. 360–362.

УДК 662.749.3

ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА УГЛЯ

д.т.н. Школлер М.Б.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Предлагается к рассмотрению на примере высокотемпературного коксования технологический вариант утилизации химических продуктов пиролиза углей с целью увеличения выпуска продуктов с высокой добавленной стоимостью и улучшения состояния окружающей

среды. Доля продукции химического блока в общей выручке составит 32 %, т.е. увеличится в 2 раза. Более, чем в 2,5 раза снижается нагрузка на водоочистные сооружения.

Ключевые слова: смола, вода, эмульсия, газификация, водород, конверторный газ, синтез-газ, моторное топливо

Довольно часто переработкой угля называют процесс его обогащения. На самом деле это не соответствует истине. На обогатительном предприятии горная масса, полученная на шахтах или разрезах, освобождается от значительной части неорганических материалов, что представляет возможность для глубокой переработки органической массы угольного вещества (ОМУ) по специальным химическим технологиям. ОМУ же представляет собой целый высокомолекулярный комплекс, в котором углеводороды и гетероциклические соединения, зачастую связанны между собой лишь ассоциативным межмолекулярным взаимодействием. Условно структуру ОМУ (ее иногда называют самоассоциированный мультимер САММ) можно изобразить, как показано на рис. 1. Молекулярная масса такого вещества будет составлять около 5400 ед.

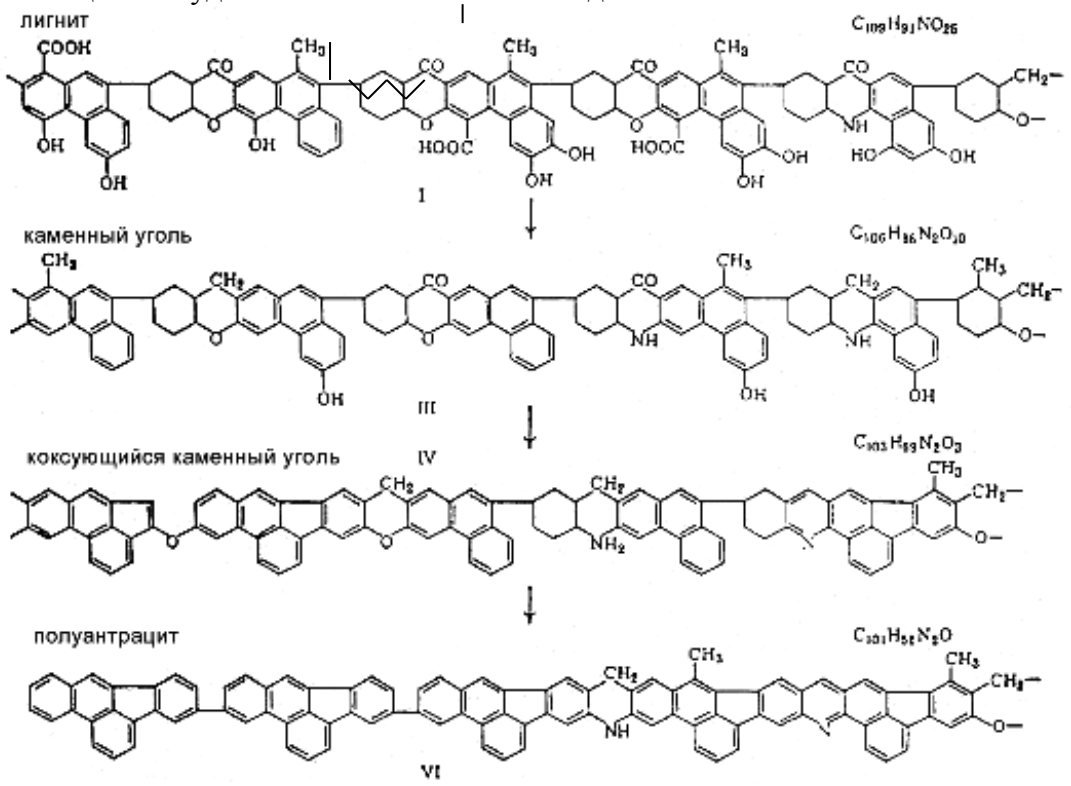


Рис . 1. Гипотетические модели и химические формулы структуры ОМУ различных типов твердых горючих ископаемых (ТГИ)

Такая структура подразумевает то, что уголь - не только теплоэнергетический ресурс, но и специфическое, по сравнению с нефтью, углеводородное сырье, переработка которого по различным химическим технологиям может привести к получению уникальных по свойствам и применениям продуктов.

В Кузнецком бассейне имеются солидные ресурсы особо ценного вида угольного сырья коксующихся углей, переходящих при температурах около 350 °С в жидкотекучее состояние, а при дальнейшем их повышении до 1000 °С образующих псевдокристаллический материал – кокс и широкий ассортимент ароматических и полициклоароиатических продуктов, богатый молекулярным водородом газ.

В мире и в России широкое распространение получила высокотемпературная коксохимическая технология глубокой переработки коксующегося угля. Для глубокой пере-

работки некоксующихся каменных и бурых углей разработано несколько технологических вариантов низкотемпературного пиролиза (полукоксования).

Известно, что при низкотемпературном (полукоксовании) и высокотемпературном (коксование) пиролизе твердых топлив наряду с твердыми продуктами (кокс, полукокс), пользующихся широким спросом в металлургии, машиностроении, химической промышленности, образуются значительные количества высокопотенциальных пиролизных газов, бензольных углеводородов, смол и воды (табл. 1).

Таблица 1

Состав газов коксования и полукоксования

Газ предприятия	Состав газа, % об.							
	CH_4	C_mH_n	H_2	CO	CO_2	O_2	N_2	Q, ккал/м^3
Коксохимического	25	2,5	58	6,5	2,5	0,5	4	4000
Полукоксования каменных углей	42,5	2,0	28,5	13,5	10,0	2,5	2,5	5100
Полукоксования бурых углей	20,8	5,0	21,8	21,7	22,1	0,5	8,3	4760

Выход газа смол и воды в различных пиролизных процессах следующий, % масс от исходного сухого сырья [1]:

	смола	вода	газ
Коксование:	3,0	2,5	15
Полукоксование:			
каменный уголь	9,4	3,5	14
бурый уголь	11,0	7,6	15

Недостатком существующих технологий утилизации жидких химических продуктов пиролиза твердых топлив является то, что в их основе лежат традиционные способы фракционирования и экстракции, что не позволяет разделить сложные смеси нескольких тысяч органических соединений на индивидуальные продукты, с высокой добавленной стоимостью.

Традиционно сложившийся ассортимент продукции переработки коксохимической смолы – это в основном технические продукты (фенольная фракция, технический нафталин, поглотительная фракция, для абсорбции сырого бензола, антраценсодержащее сырье - для технического углерода, электродный пек, пековый кокс - для цветной металлургии и электродных заводов). Их производство не требует каких-либо изменений в технологии. Наибольшим спросом из продуктов переработки смолы коксохимического предприятия пользуется самое высококипящее соединение - пек, в котором, однако, присутствует повышенная концентрация канцерогенных веществ. Одновременно на отечественном рынке появились иностранные производители пека. Остальные широкие фракции дистилляции смол преимущественно используются в качестве дешевых энергоносителей. Также только в качестве энергоносителей используются и газы пиролиза, отличающиеся высоким содержанием молекулярного водорода.

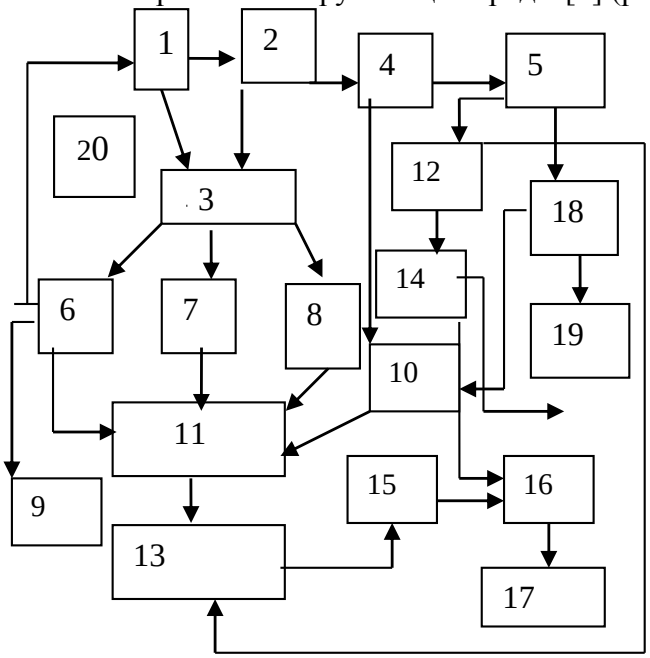
Существующая экономическая ситуация не благоприятствует развитию переработки коксохимических смолы и сырого бензола, которая может идти в направлении углубления, т. е. освоения новых видов продукции, таких как мезитилен, псевдокумол, бензойная кислота, метилнафталины, аценафтен, дифениленоксид, флуорен, антрацен, карбазол, фенантрен, акридин, флуорантан, пирен, хризен и др. Технологии выделения этих продуктов из смолы коксования, разработанные достаточно давно, в промышленности практически не используются, а разработки нуждаются в совершенствовании [2].

Комплексная переработка смол полукоксования пока еще нерешенная проблема [3, 4]. Низкий спрос на химические продукты пиролиза твердых топлив делает невыгодным

эксплуатацию химических блоков предприятий пиролиза углей, и на рынок выходят технологии производства кокса и полукокса с полным сжиганием газов пиролиза непосредственно в реакторе коксования или полукоксования.. Такой путь является одним из наиболее тупиковых в решении проблемы создания безотходных технологий переработки органического топлива. Поэтому одновременно ведутся работы по совершенствованию процессов переработки смол и газов пиролиза твердых топлив [5, 6].

Основной акцент зарубежными аналитиками делается на выделение водорода из коксового газа. Так в Японии, где производство кокса составляет около 40 млн. т /год, водород коксового газа рассматривается как основной ресурс водородной энергетики и водородного автомобильного топлива [7].

Нами предлагается универсальный способ утилизации химических продуктов пиролиза твердых топлив, задачей которого является замена существующего ассортимента маловостребованных химических продуктов пиролиза твердых топлив ассортиментом химических продуктов, пользующихся широким спросом, в частности, моторных топлив, спиртов, водорода, снижения загрязнения окружающей среды [8] (рис.2).



1 -газосборник коксовых батарей; 2 - первичный газовый холодильник; 3 - механизированный осветлитель; 4 - устройство очистки коксового газа от нафталина и установка для извлечения аммиака; 5 - устройство конечного охлаждение коксового газа и абсорбция сырого бензола; 6 - сборник надсмольной воды; 7 - сборник смолы; 8 – фусоприемник; 9 - устройство биохимческой очистка избыточной надсмольной воды; 10 - сборники жидких отходов; 11 - диспергатор для получения водосмоляной эмульсии; 12 - устройство выделения водорода из коксового газа; 13 - аллотемический газогенератор с кольцевой топкой для газификации водосмоляной эмульсии; 14 - газгольдер водорода; 15 - газгольдер водяного газа $CO:H_2=1:1$; 16 - смеситель для получения синтез-газа $CO:H_2=1:2$; 17- установка синтеза моторного топлива; 18 - устройство дистилляция сырого бензола из абсорбента и регенерации абсорбента; 19 - устройство ректификации сырого бензола; 20 - коксовая батарея

Рис. 2. Принципиальная схема реструктуризации химического блока коксохимпредприятия

В соответствии с этим способом отделенные при охлаждении газов пиролиза смола, вода пиролиза и органические отходы используются для приготовлении водосмоляной эмульсии, которая подвергается каталитической аллотермической газификации для получения синтез-газа.. Водяной газ - продукт взаимодействия углерода органических соеди-

нений с водяным паром по реакции $C_т + H_2O_г \rightarrow CO_г + H_{2г}$ теоретически должен иметь следующий состав CO - 50,0 %; H_2 - 50,0 % .Выход водяного газа из 1 кг углерода V. = 3,73 м^3. Теплотворная способность Q =11,8 МДж/м^3.

По данным ООО «Цеосит» для синтеза высокооктановых моторных топлив необходимо иметь в синтез-газе соотношение H_2:CO=1,8-2,4 [9] Обогащение водяного газа можно осуществить за счет части водорода, который предлагается выделять из коксового газа. В составе химического блока остается технологический цикл улавливания и переработки сырого бензола. Для улавливания сырого бензола используется нефтяной или синтетический абсорбент.

Обезводороженный «богатый» газ используется для обогрева коксовых батарей и аллотермического газификатора.

В соответствии с методологией [10] выполнен расчет материального баланса диспергатора для коксохимического предприятия производительностью по влажной шихте 457т/час (4000000 т/год), **к**оличество смолы – 17000 кг/час (содержание углерода в смоле – 92,0% масс.). В состав водосмоляных эмульсий предлагается включить фусы и другие жидкие отходы коксохимии. Возможность получения стабильных эмульсий с этими продуктами и технологические способы ее реализации показаны в работе [11].

Количество фусов, образующихся при гравитационной и центробежной дешламации смолы, при данной производительности по шихте, составит около 600 кг/час или около 5250 т/год. Содержание смолы в фусах обычно находится в пределах 50-80 %.

При составлении смеси для газификатора смоловодяной эмульсии стехиометрическое массовое соотношение углерода органических продуктов и воды должно быть (в соответствии с реакцией $C+H_2O= CO+H_2$ равным 1:1,5). Таким образом, воды, как минимум, потребуется (17000кг/час х 0,92)х1,5 = 23460 кг/час. Это позволит уменьшить количество избыточной надсмольной воды на предприятии более чем в 2 раза.

Следует отметить, что экспериментальные данные, полученные при газификации смоляных паров на лабораторной установке Института горючих ископаемых [12], свидетельствуют о том, что в зависимости от величины давления и температуры в газогенераторе может быть получен водяной газ с соотношением H_2/CO от 16 до 3 (табл.2).

Таблица 2

Показатели процесса бескислородной пароводяной газификации смоляных паров [12]

Наименование показателей	Давление , $p_{изб}$, кгс/см^2					
	20		40		1	
Средняя температура, ^{0}C	985	1000	980	990	970	975
Состав сухого газа, %						
CO_2	17,60	16,54	13,68	14,25	9,69	8,53
C_nH_m	0,76	0,23	0,31	0,20	4,22	3,90
O_2	0,30	0,24	0,23	0,30	0.95	0,21
CO	4,54	5,23	4,70	5,27	17,90	18,80
H_2	73,25	62,02	76,62	74,97	55,98	57,62
CH_4	3,35	6,54	3,47	4,01	9,35	9,34
N_2	0,20	2,20	1,00	1,00	1,91	1,63
Выход газа на 1 кг смолы, нм^3/кг	1,80	2,25	2,70	3,40	2,90	2,94
Степень разложения вод. пара,%	5,6	8,8	9,7	10,45	10,60	11.20
Коэффициент газификации, %	28	41	50,5	58,4	59,1	62,3

Поэтому не исключается вариант, когда водород из пиролизного газа может быть полностью использован, либо в качестве продукта предприятия, либо в качестве технологического сырья при организации процессов синтеза химических продуктов с участием водорода, например, синтеза капролактама.

Газификацию смоловодяной эмульсии на коксохимическом предприятии возможно осуществить по аллотермическому принципу, так как имеются значительные ресурсы высокопотенциальных вторичных энергоностителей для внешнего обогрева аллотермическоо газогененратора.

Одной из важнейших технологических операций в данном способе является приготовление стабильной водосмоляной эмульсии. Для традиционной технологии переработки смол пиролиза ТГИ. эмульгирование смолы с водой является крайне нежелательным явлением.

При переработке смол в режиме газификации использование эмульсий является несомненно положительным фактором. Об этом свидетельствуют многочисленные работы, выполненные в последнее время по сжиганию водотопливных эмульсий в дизельных установках.

Эмульсия представляет систему, состоящую из двух жидкостей с разной температурой кипения; температура кипения воды при нормальном давлении равна 100°С, а жидкого топлива -260-300°С. Капля эмульсии типа «вода в масле» представляет собой сложную систему, состоящую из топлива, в котором равномерно в виде мелких частиц распределены капельки воды. Благодаря этому процесс сгорания топлива становится более совершенным и происходит за меньший промежуток времени. Более полная реализация в этом случае обеспечивается также газификацией сажистых остатков топлива, которые обычно не успевают окислиться, но в присутствии паров воды в достаточном количестве взаимодействуют с последними при температуре выше 800°С с образованием углекислого газа и водорода.

Существует мнение, что улучшение процесса смесеобразования объясняется также выбросом паров воды и осколков топлива в виде нестационарных микроструй из капли топлива при сгорании ее в цилиндре двигателя [13].

Другой важной подготовительной технологией комплекса является выделение водорода из газов пиролиза.

Процесс криогенного выделения водорода из коксового газа нашел в прошлом веке широкое применение в азотной промышленности. В основу положено различие в температурах кипения составляющих газ компонентов. Температура кипения водорода равна -252,6 °С. Все остальные компоненты имеют более высокие температуры кипения от -40 (высшие углеводороды) до -195,7 °С (азот). Таким образом, если охладить коксовый газ, например до -200 °С, то все компоненты газа перейдут в жидкое состояние, а водород останется газообразным.

В настоящее время значительное распространение в мире получила технология разделения газовых смесей методом короткоцикловой адсорбции под переменным давлением (КЦА-PSA) с получением водорода, азота, кислорода, метана, этилена и др. компонентов высокой концентрацией (от 95% до 99,9999%). Данная технология позволяет разделять практически любой газ [14, 15].

Фирма «Nippon Steel» смонтировала на территории своего металлургического завода в Кимицу опытно-промышленную установку (ОПУ) для получения жидкого водорода из коксового газа. В основу технологии положен метод адсорбционного разделения газа под переменным давлением (КЦА-PSA) [16].

Установка успешно действует с января 2004 г., поставляет водород на водородную заправочную станцию. В Японии предполагается к 2020 году произвести 5 млн. автомобилей на топливных элементах. В свете этой задачи водород из коксового газа в количестве около 8 млрд. $м^3$/год может служить потенциальным источником значительной части топлива для этих автомобилей, потребление которых составит 6,2 млрд. $м^3$/год.

Технология выделения водорода из коксового газа потребует его предварительной глубокой очистки от аэрозольных смолистых и нафталиновых частиц, а также от сернистых соединений [1-4].

Современная технология очистки коксового газа от смолистых аэрозолей в низконапорных скрубберах Вентури разработана ВУХИНом и успешно внедрена на ОАО «Губахинский кокс», дает следующие результаты: производительность по газу 50-100 тыс.нм^3/ч, остаточное содержание аэрозолей смолы в газе 20-50, мг/нм^3 газа, эффективность очистки 98-99%, гидравлическое сопротивление 60-80 мм вод.ст.[17].

Следующим технологическим звеном подготовки коксового газа к разделению является сероочистка. Технология комплексной сероцианоочистки разработана ВУХИНом. Установка по такой комплексной технологии успешно функционирует на ОАО «Кокс» (г. Кемерово).

По результатам исследований процесса на опытно промышленной установке степень улавливания сероводорода находится в пределах 79-87 % [18].

При достижении необходимого соотношения в газе H_2/CO он может быть направлен на синтез жидких углеводородов.

Технология синтеза жидких углеводородов и спиртов по способу Фишера-Тропша достаточно хорошо отработана в промышленных масштабах.

Центр «Цеосит» СО РАН предлагает способ с бифункциональным катализатором. По его данным [8] технико-экономические показатели такого способа являются более предпочтительными по сравнению с традиционными технологиями.

По этому способу компримированный до 80 атм. синтез-газ направляют на стадию синтеза высокооктанового бензина, где на бифункциональных катализаторах получают товарный бензин с октановым числом (ОЧ) 92-93, углеводородные топливные газы с минимальной теплотой сгорания около 20 МДж/нм^3 и воду с содержанием метанола менее 5% масс. Производительность катализатора – 3-5 т товарного автобензина с ОЧ не менее 85 на 1м^3 катализатора в сутки.

Конечными продуктами процесса являются:

товарный автобензин примерного состава (% масс):

- парафины нормального строения – 3-5;
- олефины – 1-3;
- нафтены – 5-10;
- ароматические углеводороды – 10-30;
- изо-парафины – остальное.

Содержание в бензине бензола не превышает 1% масс; количество 1,2,4,5-тетраметилбензола (дурола) находится в пределах 1-2% масс; содержание углеводородных продуктов с температурой конца кипения $T_{кк} > 200^oC$ не превышает 1% масс. Это соответствует последним европейским стандартам на моторное топливо.

Образующийся в процессе продувочный газ является высококалорийным газообразным топливом для выработки тепловой или электрической энергии.

Использование предлагаемого комплекса позволит получить ежегодно на предприятии мощностью 3 млн. т кокса /год вместо 80 тыс.т дешевых технических масел и 80 тыс.т пека следующую продукцию:

автобензин с ОЧ 90-100-110 тыс. т;

дизельное топливо – 10-11 тыс.т;

водород – 700-720 млн. м^3;

бензол высокой чистоты – 25-30 тыс. т;

электроэнергия. 25-30 МВт.

Более, чем в 2,5 раза снижается нагрузка на водоочистные сооружения. Устраняются канцерогенные продукты проблема утилизации фусов и других жидких отходов.

Безусловно, реализация такой технологической структуры химического блока коксохимического предприятия потребует выполнение значительного комплекса НИОКР в области получения стабильных водосмоляных эмульсий, их газификации, глубокой очистки коксового газа , выделения из него водорода и др.

Выступая с докладом на Кемеровском форуме «Уголь в мировой экономике» (4-6 мая 2011 г.) проф. А. Соболевский из Института углехимии в Забже (Польша) привел величину соотношения затрат на сырье для коксования и выручки от продажи продуктов коксования [19] (рис. 3). Оно равно двум. В общей сумме выручки доля химических продуктов: коксового газа, смолы и бензола составляет немногим более 16%, а доля смолы – 37,5% от общего вклада химпродуктов. Доля же бензола - около – 56 %, при том, что выход бензола почти в 4 раза меньше выхода смолы. Несомненно, что в результате расширении ассортимента продуктов с высокой добавленной стоимостью при модификации технологии переработки смолы эта доля существенно может возрасти. Это еще раз говорит о том, что назрела необходимость диверсифицировать ассортимент продукции химического крыла коксохимии.

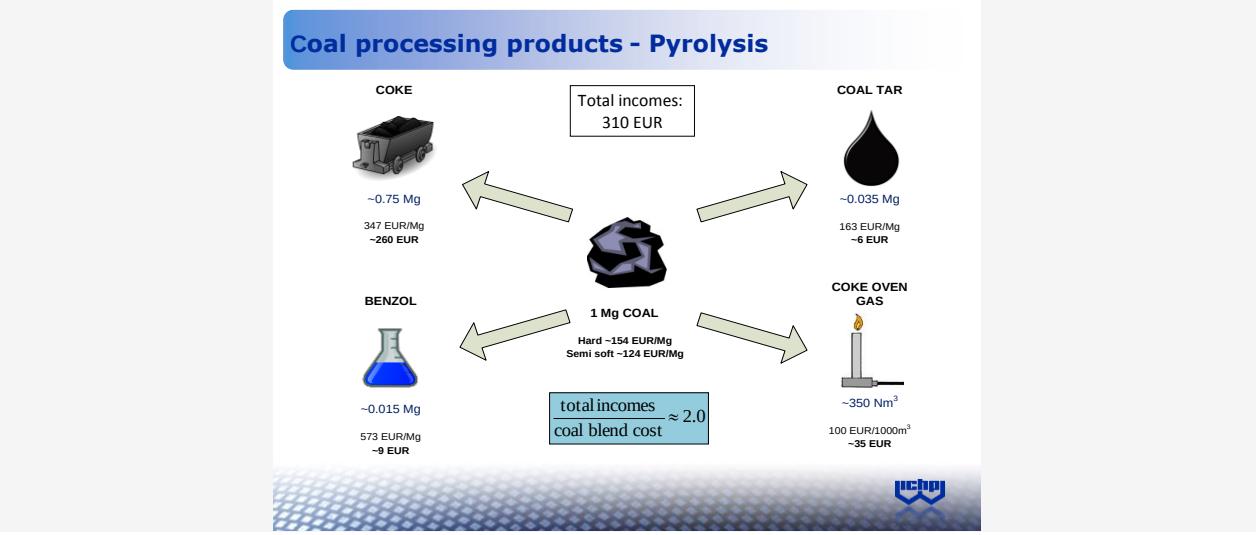


Рис. 3. Соотношение стоимости сырья для коксования и стоимости коксохимической продукции в ЕЭС [19]

Если применить такой же подход к анализу соотношения затрат на сырье и выручки от продажи нового ассортимента продуктов химического блока, то с учетом стоимости в странах ЕЭС бензина 2000 €/т [20], водорода - 2€/кг (200 €/1000 м^3) [21], повышения в 1,5 раза теплоты сгорании обезводороженного коксового «богатого» газа (150 €/1000 м^3), сохранения производства бензола, то это соотношение возрастет до 2,48, а доля продукции химического блока в общей выручке составит 32 %, т.е. увеличится в 2 раза.

Список литературы

1. Ахметов С.А., Ишмияров М.Х., Кауфман А.А. Технология переработки нефти, газа и твердых горючих ископаемых. – С-Пб.: Недра, 2009. – 832 с.

2. Посохов М.Ю., Сухоруков В.И., Рытникова Л.Я. О стратегии развития коксохимической промышленности Российской Федерации до 2005 // Кокс и химия. – 2001. -№ 3. – С. 10-18

3. Школлер М. Б Полукоксование каменных и бурых углей. Новокузнецк.: Инженерная академия России. – 2001. – С. 164-193).

4. Школлер М.Б., Страхов В.М. О проблемах переработки химических продуктов полукоксования.// Кокс и химия. – 2003. №9. - С.45-53.

5. Ильяшов М. А., Гордиенко А. И., Збыковский Е. И., Старовойт А. Г., Ковалев Е. Т., Васильев Ю. С.// Направление использования коксохимических мощностей переработки каменных углей. – Кокс и химия, - 2009. - № 6. –С. 28-32.

6. П. Димер, Х.-Ю Киллих, К. Кнопп, Х,Б. Люнген, М. Райнке, П. Шмеле. // Возможности утилизации доменного газа на металлургическом комбинате Черные металлы, декабрь, 2004. - С. 10-17.

7. Антонов А.В. Новые тенденции в использовании коксового газа // Новости черной металлургии за рубежом. – 2005. – № 2. – С. 17-18.

8. Школлер М. Б., Мочалов С, П,, Ивушкин А. А. Способ утилизации химических продуктов пиролиза угля. Патент РФ №2524603, опубл. 27.07.14

9. Технология «Цеосин» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.key – group.cz./ru/ceosin.php

10. Коляндр Л. Я. Улавливание и переработка химических продуктов коксования. Харьков-Москва. Государственное научно-техническое издательство по черной и цветной металлургии. – 1953. – 415 с.

11. Сабирова Т. М. Измельчение фусов в отходах коксохимического производства // Кокс и химия. – 1992. - №8. - С. 27-29.

12. Альтшулер В. С. Новые процессы газификации твердого топлива. – М.: Недра. – 1976. – 280 с.

13. Применение водотопливных эмульсий в топливных технологиях. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http:// www.additive.spb.ru/vte.html

14. Промтов М. А. Водотопливные эмульсии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http:// www.tstu.ru/structure/ facul/doc/mo/eito8.doc

15. Хейфец Л.И., Зеленко В.П., Павлов Ю.В. Элементы теории процессов адсорбционного разделения газовых смесей. – М.: МГУ им. Ломоносова, 2004. – 68 с.

16. Баранов Д.А., Кутепов А.М. Процессы и аппараты. – М.: Academa, 2004. – 30

17. Антонов А. В. Производство жидкого водорода из коксового газа//Новости черной металлургии за рубежом. – 2006. - № 4. – С.22-24.

18. Назаров В.Г Научные основы улавливания химических продуктов коксования в разработке ВУХИН// Кокс и химия. – 2011. – № 3. – С. 54 – 56.

19. Sobolewski A**.** Possibilities of coal use in carbochemistry International Scientific and Practical Conference – „COAL IN WORLD ECONOMY**”** Kemerovo, Russian Federation 4-6 May 2011

20. Сколько стоит бензин в разных странах [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://newpax.ru/7939 - skolko-stoit-benzin-v-raznih- stranah.

21. Водородное топливо. Экология и экономика**.** [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://newchemestry.ru/letter.php? n – id

УДК 622.271 (075.8)

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, НАРУШЕННЫХ ТЕХНОГЕНЕЗОМ, НА ТЕРРИТОРИИ КУЗБАССА

к.б.н. Семина И.С., к.с.-х.н. Шипилова А.М.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты исследований почвенно-экологического состояния горнопромышленных ландшафтов и обоснована необходимость корректировки государственных стандартов на рекультивацию нарушенных земель.

Ключевые слова: рекультивация нарушенных земель, субстрат, влагообеспеченность техногенных ландшафтов, государственные стандарты.

Актуальность проблемы. Кузбасс является крупнейшим угольным бассейном России, и в настоящее время в области добычу полезных ископаемых ведут более 100 горнодобывающих предприятий [2]. По разным данным на территории Кузбасса общая площадь нарушенных земель составляет не менее 200 тыс. га [2]. В стратегии социально-

экономического развития Кемеровской области на основании данных Федеральной службы государственной статистики в 2006 году в Кузнецком угольном бассейне добыто угля 174,0 млн.т, в сравнении с 2005 годом прирост составляет 105,2 %. Особо высокий темп роста наблюдается на угольных предприятиях, ведущих добычу открытым способом. По оценкам специалистов можно отметить, что в перспективе добыча угля существенно увеличится, и к 2030 году будет составлять 275 – 330 млн.т. Следовательно, такое увеличение объемов добычи угля приведет к дальнейшему расширению площади нарушенных земель.

При таком интенсивном развитии добычи угля открытым способом существует вероятность, что в Кузбассе в ближайшее время практически не останется мест с первозданной природой, не подвергшейся антропогенезу. На месте уничтоженного почвенного покрова создаются «техногенные» ландшафты, значительная часть которых в течение многих десятилетий по различным причинам может сохранить облик техногенной пустыни.

Однако, несмотря на то, что почвенный и растительный покров полностью уничтожается, после прекращения антропогенного воздействия запускается активный процесс самовосстановление техногенного ландшафта. Скорость естественного самовосстановления отвалов зависит от созданных условий на технологическом этапе рекультивации нарушенных земель, а именно создание благоприятных физических и физико-химических свойств субстрата верхнего слоя отвалов и формирование рельефа, что является фундаментальной основой для дальнейшей конструкции ландшафта и формирования почвенного и растительного покрова.

В настоящее время рекультивация нарушенных земель открытыми горными работами на разрезах осуществляется на основании проектной документации на рекультивацию нарушенных территорий в соответствии с ГОСТ 17.5.3.04-83 «Общие требования к рекультивации земель» и «Методических указаний по проектированию рекультивации нарушенных земель на действующих и проектируемых предприятиях угольной промышленности» [3].

Существующие государственные стандарты на рекультивацию нарушенных земель, к сожалению, не отражают полученный практический опыт научных исследований в данной области. В государственном стандарте «Общие требования к рекультивации земель» отмечено, норма снятия плодородного слоя почвы для основных типов и подтипов почв глинистого и суглинистого состава должна быть не менее 0,2 м. Если мощность ПСП менее 0,2 м, следовательно, ценные литогенные ресурсы рекультивации (почвенный покров и потенциально плодородные породы) не снимаются, а транспортируются в отвал. В дальнейшем данные ресурсы хаотично представлены в теле отвала, а на поверхность выносится смесь вскрышных и вмещающих пород. В петрографическом отношении это, главным образом, смесь песчаников, алевролитов и аргиллитов с незначительным содержание четвертичных отложений.

Ранее проведенные исследования техногенных ландшафтов в горно-таежной зоне Кузбасса позволили установить, что основными лимитирующими факторами для развития растительности и почвенного покрова являются неблагоприятные физические и водно-физические свойства субстрата отвалов, которые не способствуют эффективному использованию атмосферных осадков, что приводит к формированию жесткого гидротермического режима на отвалах, сложенных, в основном, каменистыми породами.

Формирование корнеобитаемого слоя из потенциально плодородных пород и плодородного слоя почвы позволяет создать благоприятные условия для развития первичных почвенных и растительных сукцессий. При этом необходимо учитывать, что мощность отсыпаемого горизонта из потенциально плодородной породы, во многом определяет эффективность рекультивации. Для горно-таежной зоны отсыпанная мощность суглинка должна удерживать среднегодовое количество осадков [1]. Исследования влагообеспеченности естественных ландшафтов показали, что на дерново-глубокоподзолистых почвах атмосферные осадки (около 650 мм) удерживаются метровой толщей. Поэтому метровый слой ППП (потенциально плодородной породы) на поверхности способен усваивать все

атмосферные осадки, что будет способствовать восстановлению зонального типа растительности и достижению высокой более 90 % почвенно-экологической эффективности рекультивации. При отсыпке ППП мощностью 50 см, почвенно-экологическая эффективность составит 50 %. Однако, даже и при таком слое ППП почвенно-экологическая эффективность будет достаточно высокой [4].

Наблюдения за процессом естественного самозарастания растительностью техногенных ландшафтов в данной климатической зоне, где вновь образованный субстрат представляет собой почти стерильные неоэкотопы, которые осваиваются организмами «с нуля» показали, что скорость формирования первичной растительности значительна. Уже через три года на отвалах, где верхний слой сформирован из благоприятной породы для биологического освоения, проективное покрытие растительностью составляет около 80 % (рис. 1).

Кроме того, следует обратить внимание на то, что в требованиях на рекультивацию земель при проведении технического этапа рекультивации в зависимости от направления рекультивируемых земель должна быть выполнена грубая и чистая планировка поверхности отвалов. Однако, многочисленные исследования показывают, что разравнивание ландшафтов тяжелой техникой (бульдозерами) обуславливает значительное уплотнение субстрата, следовательно ухудшаются физические свойства субстрата отвалов, а именно снижается водопроницаемость, влагоемкость и аэрация.

Рис. 1. Техногенные ландшафты Калтанского угольного разреза, мощность суглинистого слоя более 1 м

Так, полученные результаты запасов влаги в вегетационный период в субстрате северного склона отвала в горно-таежной зоне Кузбасса в течение всего периода наблюдения находились в интервале НВ – ВРК (НВ – верхней предел продуктивной влаги; ВРК – нижней предел продуктивной влаги). Благодаря благоприятному гидротермическому режиму и мелкоребристому рельефу, а также не крутому склону, влагозапасов достаточно для развития фитоценоза на поверхности участка.

В субстрате отвала на выровненной уплотненной поверхности запасы влаги на глубине 0 – 20 см находились в диапазоне НВ – ВРК, но с глубиной запасы резко понижаются. В мае и июне запасы влаги были близки к значениям ВЗ (ВЗ – нижний предел (порог) продуктивной влаги в почве), это связано с интенсивным испарением с поверхности и малыми продуктивными запасами влаги. В тоже время в результате высокой плотности 1,8 – 2 г/см^3 нижних слоев (20 – 40 см) субстрата влага практически не попадает в этот горизонт. Большую часть вегетационного периода запасы в этом слое на находятся в интервале ВЗ – ВРК, то есть в совокупности с очень высокой плотностью слоя эти запасы практически недоступны для растений. Известно, что при увеличении плотности до 1,5 г/см^3 про-

исходит значительное снижение продуктивности большинства растений, а при плотности сложения 1,7 г/см^3 растения не могут произрастать на таком субстрате. Поэтому на этом участке активный влагообмен происходит только в верхнем 20 см слое [5].

Таким образом, существует необходимость корректировки государственных стандартов на рекультивацию нарушенных земель. Технологические мероприятия по сохранению литогенных ресурсов рекультивации и использованию их при формировании верхнего слоя отвала определенной мощности от 1 м и более (в зависимости от природно-климатических особенностей района), созданию благоприятного неуплотненного холмистого рельеф с разнообразными насаждениями способствуют формированию эстетического восприятия техногенных ландшафтов и обеспечивают высокую экологическую эффективность горнопромышленных отвалов.

Список литературы

1. Андроханов В.А. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция / Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачёв В.М. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 151 с.

2. Геоэкология угледобывающих районов Кузбасса / В.П. Потапов, В.П. Мазикин, Е.Л. Счастливцев и др. – Новосибирск : Наука, 2005. – 660 с.

3. ГОСТ 17.5.1.01-83 Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения. – М., 1983.

4. Семина И. С. Исследования температурного режима эмбриоземов на отвалах Калтанского угольного разреза / И. С. Семина, В. А. Андроханов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2010. – № 5. – С. 189 – 195.

5. Семина И.С., Беланов И.П., Шипилова А.М., Андроханов В.А. Природно-техногенные комплексы Кузбасса: свойства и режимы функционирования. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013.

УДК 622.24:622.411.3

ВОЗМОЖНОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КУЗБАССА ПОДВИЖНЫХ ФОРМ МЕТАНА

[1]Грицюк Я.М., [2]Плетенчук Н.С.
1 - ООО «Аэрокосмическая партия»,
г. Новокузнецк, Россия
2 - Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В Кузбассе выполняется бурение скважин для добычи метана угольных пластов. Объектом добычи определены сорбированные в угле формы метана. Испытания скважин показали их низкую продуктивность. В докладе рассмотрены причины сложившейся ситуации и намечены пути выхода из неё.

Ключевые слова: угольный метан, скважинная добыча, углегазовое опробование, газодинамические структуры.

Уже более 50-ти лет во многих зарубежных странах, в первую очередь в США, Канаде, Китае, Австралии, Индии ведутся работы по добыче метана из угольных пластов. Поиски залежей угольного метана в пределах угольных бассейнов ведутся большей частью стихийно с заложением поисковых и опытно-эксплуатационных скважин методом «дикой кошки». Основной критерий – дебит метана при опытных откачках, обеспечивающий рентабельность последующей работы газовых промыслов. Запасы метана на отдельных участках оцениваются по результатам испытания пионерных скважин, т.е. речь

идёт об извлекаемых запасах, а не о содержании метана в углях вообще. Прогнозные ресурсы угольного метана в масштабах отдельных стран и бассейнов оцениваются по результатам специальных дистанционных исследований. В частности, для территории США такие ресурсы определены специалистами НАСА и комитета ГЕОСАТ с использованием специальной самолётной технологии, регистрирующей проявление в ландшафте подвижных форм метана [1]. Дистанционные методы, преимущественно аэрогеохимические, в ряде случаев используются и при поисках углеметановых месторождений в пределах угольных бассейнов. И в этом случае объектом поисков являются не сорбированные в углях формы метана, а его подвижные, большей частью водорастворённые, концентрации.

Учёные и специалисты Газпрома, приступившие в конце прошлого века к обоснованию добычи угольного метана в Кузбассе, пошли, конечно же, своим путём. Ставка ими была сделана на имеющиеся результаты массового углегазового опробования угольных пластов при буровой разведке угольных месторождений. То обстоятельство, что при этом фиксировались только содержания сорбированного в угле метана, который может лишь частично извлекаться скважинным способом, во внимание не принимались [2]. Ниже мы попытаемся доказать ошибочность такого подхода, но сначала необходимо восстановить в памяти хрестоматийные сведения о формах нахождения метана на угольных месторождениях и используемых в Кузбассе способов их регистрации при отборе и анализе углегазовых проб с особым вниманием к способности различных форм метана извлекаться из недр эксплуатационными скважинами.

Формы нахождения (фазовые состояния) угольного метана объединяются в две группы: сорбированные и подвижные. Первые, в свою очередь, подразделяются на аб- и адсорбированные. Абсорбированный в угольных пластах метан является по-существу твёрдым молекулярным раствором газа в угле и, таким образом, его неотъемлемой составляющей. Содержания абсорбированного метана в первую очередь определяют качественные характеристики углей: теплотворную способность энергетических и спекаемость – коксующихся. Очевидно, что при скважинной добыче газа такой метан останется в угле, несмотря ни на какие приёмы активного воздействия на угольные пласты.

Адсорбированный метан в газообразном состоянии содержится в изолированных микропорах угля. В природных условиях адсорбированный метан подвержен десорбции в приповерхностной зоне газового выветривания. Очевидно, что только адсорбированный метан, и то только частично, в настоящее время и извлекается из угольных пластов углеметановыми скважинами ООО «Газпром добыча Кузнецк» с использованием различных способов активного воздействия на угольные пласты. В зарубежных странах запасы сорбированного метана вообще не учитываются как неизвлекаемые, хотя какая-то их часть попутно извлекается.

Подвижные формы метана на угольных месторождениях также подразделяются на две разновидности: водорастворённую и перманентную. Та и другая в зарубежных странах являются общим объектом скважинной добычи. В РФ, как и ранее в СССР, получение каких-либо сведений о наличии и характере локализации на угольных месторождениях подвижных форм метана при разведке угольных месторождений нормативными документами не было предусмотрено [3]. И это несмотря на то обстоятельство, что именно подвижные формы метана, и только они, ответственны за проявление опасных газодинамических явлений на угольных шахтах [4, 5]. Газодинамические явления на угольных шахтах, интенсивное суфлярное истечение метана свидетельствуют об больших его ресурсах, особенно в южной части Кузбасса.

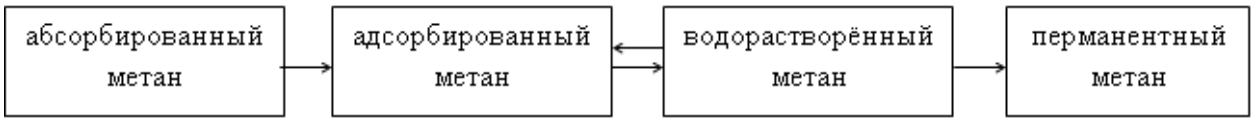
Водорастворённый метан локализован в сообщающихся трещинах, кавернах и полостях отслоения в угольных пластах при высоком парциальном давлении газа, существенно превышающем бытовое. В таких условиях один объём воды может включать до 40 объёмов метана. По условиям локализации водорастворённый метан близок к условиям локализации традиционного природного газа. Здесь также имеются коллекторы, покрыш-

ки и другие атрибуты, обеспечивающие эффективное извлечение газа скважинным способом с длительным функционированием газовых промыслов.

В перечисленных в начале доклада зарубежных странах именно водорастворённые формы метана являются основным объектом добычи. В частности, М.Б. Голицын с соавторами[6] утверждают, что в эталонном углеметановом бассейне Сан-Хуан в США добывают не сорбированный, а суфлярный метан. (Т.к. суфляры – это явление, здесь более уместно использовать термин водорастворённый – авторы). Извлечение подвижных форм метана нисколько не ухудшает качества углей, т.к. они не являются составной их частью. Возможна только небольшая усадка угольных пластов в результате закрытия трещин, полостей и уменьшения парциального давления газов. При этом существенно уменьшается вероятность катастрофических газодинамических явлений при последующей подземной угледобыче.

Перманентный (постоянно готовый к взрыву) метан локализован в изолированных полостях или системах полостей и каверн в угольных пластах при экстремально высоком давлении, чему в Кузбассе способствует наличие весьма эффективных литологических и геодинамических экранов – участков кровли угольных пластов, испытывающих интенсивное сжатие (уплотнение). Метан в таких структурных ловушках находится в газообразном состоянии или в виде химических соединений – клатратов, устойчивых только в условиях высоких давлений. Локальные структуры, содержащие концентрации перманентного метана, всё же в Кузбассе, да, по-видимому, и в других угольных бассейнах, достаточно экзотическое явление и поэтому они не рассматриваются в качестве самостоятельных объектов для добычи метана угольных пластов.

Совокупность сорбированных и подвижных форм нахождения угольного метана в общей сложности образует метаносферу угольного бассейна – относительно замкнутую флюидную систему. Её вероятная подпитка снизу реликтовыми газовыми ореолами предполагаемых залежей сланцевой нефти в базальных слоях Кузнецкого прогиба [7] компенсируется дегазацией метана в атмосферу из приповерхностной зоны газового выветривания углепородных массивов. Внутри системы наблюдается направленное преобразование форм нахождения метана под воздействием природных факторов по следующей схеме:



Содержания сорбированного и подвижного метана, таким образом, находятся в противофазе и поэтому сформулированные в [2] критерии перспективности интервалов угольных пластов с содержанием сорбированного метана выше 8-10 м³/т следует воспринимать с точностью до наоборот. А источником подвижных форм метана являются его сорбированные формы. Движущей силой таких вековых преобразований являются ротационно-инерционные напряжения в литосфере и, главным образом, сейсмические импульсы. Ресурсы подвижного (извлекаемого!) метана в Кузбассе, особенно в его сейсмически активной южной части сопоставимы или превышают ресурс сорбированной его разновидности и только они могут обеспечить длительное функционирование газовых промыслов.

Особенности углегазового опробования. Результаты массового углегазового опробывания угольных пластов при углеразведочных работах в Кузбассе совершенно безосновательно учёными и специалистами Газпрома поставлены во главе угла при оценке извлекаемых скважинным способом ресурсов и запасов метана, определения направления и методику поисков, разведки и добычи метана угольных пластов. Поэтому эти вопросы требуют хотя бы беглого рассмотрения.

Методика разведки угольных месторождений складывалась стихийно и в СССР только в середине прошлого века появились первые нормативные документы, регламен-

тирующие состав и технологию отдельных видов работ в современном их понимании. Изначальной целью углегазового опробования являлась оценка качества углей и однозначное определение положения нижней границы зоны газового выветривания угольных месторождений [3].

В соответствии с указанными целями углегазового опробования керна скважин в углях определяются только содержания сорбированного метана, а подвижные его формы с промывочной жидкостью выносятся на поверхность. Важно также отметить требование отбраковывать ещё на скважине керновый материал пластопересечений с низким выходом обычно увлажнённого керна. Этот процесс продолжается и в углехимической лаборатории, где пробы дополнительно проверяются на наличие влажного угля и отбраковываются. Для себя отметим, что отбраковываются углегазовые пробы пластопересечений , где можно предположить наиболее высокие содержания подвижного водорастворённого метана. Пластопересечения обычно характеризуются пониженным содержанием сорбированного метана. Их также можно рассматривать в качестве прямых признаков наличия промышленных концентраций водорастворённого метана.

Теперь проследим отдельно судьбу аб- и адсорированных метанов в цикле углегазового опробования. Абсорбированный метан в составе углегазовых проб без потерь доходит до углехимической лаборатории и только там с ним происходят приключения. Но об этом позже. Адсорбироваый метан даже при соблюдении всех требований инструкции (герметичные керноприёмники, парафинирование керна и т.д.) частично по дороге от забоя скважины к лаборатории теряется с поверхности кусков керна и поэтому его содержания всегда будут занижены.

В лаборатории сначала определяется количество адсорбированного метана, выделяемого из проб угля при его дроблении при комнатной температуре. Количество абсорбированного метана определяется на следующем этапе после истирания угля в вакууме до состояния пудры с последующим подогревом. Предполагается, что подогрев обеспечивает более полную десорбцию метана. Но с ещё большим основанием можно утверждать, что подогрев обеспечивает запуск реакции синтеза метана из углерода и водорода, всегда в тех или иных количествах присутствующего в угле. В лаборатории вычисляются содержания того и другого метана в м³/т угля и потом в суммарном виде выдаются заказчику.

Соотношение содержаний аб- и адсорбированного метанов в целом по бассейну оценивается в среднем как 80/20, хотя может варьировать на отдельных участках в широких пределах. Для нас важно уяснить, что они повсеместно содержат неизвестное количество метана, синтезированного в лаборатории и не существующего в природе. И как не удивляться, что запасы такого метана всезнающими (якобы!) экспертами ГКЗ утверждены в качестве активных извлекаемых скважинным способом ресурсов, которые и призвано реализовывать в Кузбассе ООО «Газпром добыча Кузнецк», оказавшееся крайним в сложившейся ситуации.

Методы поисков месторождений извлекаемого угольного метана. Подвижный угольный метан тем и отличается от сорбированного, что его залежи так или иначе проявляются в ландшафте в виде газовых ореолов или содержащих метан водных потоков. На этом основано использование аэрогазохимических и наземных гидрогазохимических методов поисков за рубежом. В РФ аэрогазохимические методы используются при поисках традиционных нефтегазовых месторождений. В зарубежной практике поисков метана угольных пластов после дистанционных поисков приступают к разбуриванию перспективных площадей с последующим переходом от поисков к разведке и далее к обустройству газовых промыслов [1].

На юге Кузбасса ООО «Газпром добыча Кузнецк» так же поначалу действовало по сходной схеме: на основе общих предпосылок, большей частью ложных, так как они базировались на распределении в угольных пластах неизвлекаемого сорбированного метана, определили в качестве перспективной Нарыкско-Осташкинскую площадь и приступили к бурению поисково-разведочных и опытно-эксплуатационных скважин. Скважины при

этом располагались на участках с содержаниями сорбированного метана в углегазовых пробах предшественников выше критического уровня 8-10 м³/т. Отрицательный результат оказался предсказуем, т.к. содержания сорбированного и извлекаемого метана в угольных пластах находятся в противофазе (см. выше).

В пределах той же Нарыкско-Осташкинской перспективной площади специалистами ООО «Аэрокосмическая партия» по договору с ООО «Газпром добыча Кузнецк» в 2010-2011 гг. с целью дистанционных поисков углеметановых микроместорождений с извлекаемым скважинным способом водорастворённым метаном выполнена морфогеодинамическая томография углепородного массива до глубины 5000 м. Методика изначально разработана для выявления и оконтуривания в формате 3D опасных в отношении внезапных выбросов метана в подземные выработки газодинамических структур. Методика опубликована [4, 8] и наиболее полно представлена в рукописном отчёте по указанным договорным работам [9]. Здесь только отметим, что в вычисляемом по указанной методике объёмном поле геодинамического индекса благоприятные для добычи угольного метана интервалы угольных пластов выделены в пределах отрицательных его аномалий, соответствующих зонам растяжения (разуплотнения) углепородных массивов.

Локальные газодинамические структуры, контролирующие в подземном пространстве углепородных массивов положение интервалов угольных пластов – коллекторов водорастворённого метана, на примере Нарыкско-Осташкинской площади кратко охарактеризованы ниже. В качестве механизма формирования наблюдаемого объёмного поля напряжённо-деформированного состояния углепородных массивов Кузбасса предполагаются ротационно-инерционные напряжения, подробно рассмотренные специалистами в области современной геодинамики [10 - 12].

К сожалению, никакие характеристики локальных газодинамических структур не могут быть извлечены из результатов обследования последствий катастрофических взрывов метана в угольных шахтах Кузбасса: горно-геологическая ситуация на их участках не изучается и не обобщается [5]. Остались пока не вскрытыми углеметановыми скважинами оконтуренные в формате 3D морфогеодинамической томографией преспективные структуры в пределах Нарыкско-Осташкинской площади. Здесь, как и на других исследованных площадях на юге Кузбасса, локальным газодинамическим структурам соответствуют крутонаклонные на восток субмеридиональные кулисообразные отрицательные аномалии геодинамического индекса, соответствующие зонам растяжения углепородных массивов. Горизонтальная мощность таких кулис составляет около 1 км, а вкрест простирания от соседних кулис их отделяют зоны преобладающего сжатия с горизонтальной мощностью 3,5-4, редко более, км. Как правило отрицательные аномалии оконтуриваются отчётливыми градиентами значений геодинамического индекса.

Крутонаклонные отрицательные аномалии геодинамического индекса занимают секущее положение по отношению к субгоризонтальному залеганию угольных пластов в пределах исследованных площадей. В их контурах (пока в основном предположительно!) угольные пласты, испытывающие напряжения растяжения, выступают в качестве многоэтажных коллекторов извлекаемого водорастворённого угольного метана. Каждая такая кулиса представляет собой углеметановое микроместорождение, в котором насыщенный метаном водный раствор заключён в сообщающихся трещинах, кавернах и полостях отслоения угля, что обеспечит длительное функционирование газовых промыслов без необходимости привлечения физических и химических способов воздействия на угольные пласты и поэтому без ущерба качеству углей и экологии. Именно такие интервалы угольных пластов и рекомендованы ООО «Газпром добыча Кузнецк» ещё в 2011г. в качестве первоочередных объектов для вскрытия углеметановыми скважинами.

Оценка запасов угольного метана должна осуществляться как во всём цивилизованном мире по результатам испытания пионерных углеметановых скважин подобно тому, как оцениваются запасы на месторождениях традиционного природного газа. В пределах локальных газодинамических структур – кулис при субгоризонтальном залегании

угольных пластов запасы целесообразно считать отдельно по отрезкам каждого угольного пласта в пределах кулисы на оптимальных глубинах и в итоге суммировать полученные оценки в пределах кулис.

Основной вывод. Стечением изложенных в докладе обстоятельств руководители ООО «Газпом добыча Кузнецк» вольно или невольно оказались в очень сложной ситуации, из которой есть два неравноценных выхода. Можно продолжать упорствовать в совершенствовании способов извлечения сорбированного метана с привлечением всё новых приёмов физического и химического воздействия на угольные пласты. (Почему бы не попробовать недавно приобретённую Р.А. Абрамовичем плазменно-импульсную технологию?). Но это приведёт к ещё большему удорожанию работ и всё большей угрозе качеству кузбасских углей и экологической ситуации. А у них, в конце концов, найдутся и более серьёзные защитники. Второй путь – переориентировка на добычу подвижных форм угольного метана с использованием мирового опыта таких работ.

Список литературы

1. Шумилов В.А., Аксельрод С.М., Шумилов А.В. Геофизические исследования скважин при разведке и добыче метана угольных пластов // Пермский гос. нац. исслед. ун-т – Пермь, 2014. - 138 с.

2. Карасевич А.М., Хрюкин В.Т., Зимаков Б.М. и др. Кузнецкий бассейн – крупнейшая сырьевая база промышленной добычи метана из угольных пластов // М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. - 64 с.

3. Инструкция по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах. - М.: Недра. 1977. - 96 с.

4. Грицюк Я.М., Кочеткова В.М., Холявко Г.Р. и др. Геологические методы оценки газодинамической опасности на угледобывающих предприятиях и прогноз катастрофических явлений // В кн. «Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов». Междунар. научно-практ. конф. Новокузнецк, 2010. - С. 367-375.

5. Грицюк Я.М., Плетенчук Н.С. Предотвращение взрывов метана на угольных шахтах – проблема геологическая // В кн. «Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов». Материалы Междунар. научно-практ. конф. Новокузнецк, 2014. - С. 333-340.

6. Голицын М.Б., Голицин А.М., Пронина Н.В. Перспективы развития добычи метана из угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. МГГУ. № 6.- 2002. - С. 120-125.

7. Грицюк Я.М. Базальные слои осадочных бассейнов фанерозоя Западной Сибири и проблема поисков сланцевой нефти // В кн. «Геология, геофизика и минер. ресурсы Сибири». Новосибирск, 2014. С. 111-113.

8. Грицюк Я.М., Кочеткова В.М. Морфогеодинамическая томография угольных и углеметановых месторождений Кузбасса // Гидрогеология, инженерная геология и гидроэкология – Томск, 2005. - С. 51-58.

9. Грицюк Я.М., Кочеткова В.М. Морфогеодинамическая томография . Объёмное моделирование напряжённо-деформированного состояния углепородных массивов центральной части Ерунаковского района Кузбасса // Рукопись в фондах ООО «Газпром добыча Кузнецк», 2010. - 48 с.

10. Викулин А.В. Ротация и прогноз напряжённого состояния недр Земли // Труды межд. Конф. «Геодинамика и напряжения недр Земли». Изд. СО РАН.- Новосибирск, 2004. - С.19-25.

11. Тяпкин К.Ф. Вращение Земли – фактор, определяющий направленность геологических процессов и геофизические поля // Геол. и геофизика. №4 – 1994. - С. 8-14.

12. Шило Н.А. Ващилов Ю.Я. Земные приливы как тектонический насос и вибратор // ДАН СССР. – 1989 – 307. №4. - С. 833-836.

УДК 658.513.3

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ И ТРЕБОВАНИЙ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Варламова Л.Н., Кузнецов Н.Н., Гладких Р.И.
ООО «НИИЦ КузНИУИ»,
г. Прокопьевск, Россия

Аннотация. Изложен порядок организации и технологического взаимодействия служб, а также требований нормативных и технических документов при выполнении ремонтно-восстановительных работ, что позволит увеличить долговечность конструкций, обеспечить стабильность эксплуатации производственных зданий и сооружений на опасных производственных объектах.

Ключевые слова: экспертиза, опасный производственный объект, промышленная безопасность, проектная документация.

При проведении экспертизы промышленной безопасности зданий и сооружений поверхностного комплекса на угольных и горных производствах экспертами ООО «НИИЦ КузНИУИ» г. Прокопьевска в составе работ производился контроль выполнения «Условий по приведению их в соответствие требованиям промышленной безопасности». В комплекс работ, которых входит устранение выявленных нарушений в согласованные с Заказчиком сроки, а также контроль их выполнения. Соответствующие мероприятия в отношении зданий и сооружений по устранению замечаний, выявленные в процессе экспертизы и подлежащие выполнению, являются важной частью заключения. Мероприятия должны быть выполнены согласно правилам [2] в согласованный, не превышающий 3-х месячный, срок со дня начала проведения экспертизы. Согласно ФНП в области промышленной безопасности [1], объект экспертизы не в полной мере соответствует требованиям промышленной безопасности и может быть применен при выполнении мероприятий, после проведения, которых здания, сооружения будут соответствовать требованиям промышленной безопасности. По опыту работы ООО «НИИЦ КузНИУИ» за 2014 год на опасных производственных объектах (ОПО)в Кемеровской области и Алтайском крае выявлены наиболее характерные нарушения требований по исполнению мероприятий и условий, подлежащих выполнению. Если по срокам заказчики стремятся к своевременному исполнению, то качество работ по восстановлению работоспособности строительных конструкций, выполняемое подрядным или хозяйственным способом, зачастую не отвечает требованиям нормативных документов и проектным решениям. На практике заказчики формально относятся к выполнению мероприятий, исключая инженерное участие квалифицированных специалистов в области проектирования и строительства. Отдельные виды работ выполняются хозяйственным способом с нарушениями правил производства и приемки работ. Отсюда, качество таких работ не соответствует требованиям строительных норм и правил, а также требованиям промышленной безопасности по эксплуатации ОПО. И, конечно же, отсутствует исполнительная документация о произведенных текущих ремонтах и усилениях конструкций, производственном контроле выполнения работ, актов приемки работ. Привлекая подрядчика для выполнения строительно-монтажных работ по замене или усилению конструкций, служба производственного контроля предприятия напрямую работает со строительной подрядной организацией, передавая ей заключение экспертизы, в котором указаны мероприятия по устранению дефектов с рекомендациями технических решений, без подготовки проектной документации. Пример ОПО – сооружение транспортерной галереи, несущими конструкциями которой являются металлические

элементы. В случае выдачи в заключении экспертизы технических рекомендаций по усилению отдельных элементов, конечно же, влияющих на безопасность конструкции и объекта в целом, обязательна подготовка проекта на усиление конструкций и выполнение таких работ подрядным способом. На практике заключается договор, составляется смета на производство строительных работ, но не готовится проектная документация по мероприятиям и рекомендуемым техническим решениям заключения экспертизы на усиление конструкций.

Фактически нарушается ответственность Заказчика за обеспечение Подрядчика проектной документацией и производственный контроль исполнения строительно-монтажных работ. Порядок подготовки проектной документации на проведение ремонта, восстановление конструкций установлен в действующем положении о проведении планово-предупредительного ремонта [3], где говорится, что сметы на ремонт без проектов могут составляться на основании описей работ в том случае, когда конструкции в процессе ремонта не заменяются и не усиливаются. В случаях замены или усиления отдельных конструкций разрабатывается проектная документация. Работы по ремонту и восстановлению конструкций ОПО, как правило, должны осуществляться подрядным способом. Хозяйственный способ производства работ по ремонту таких объектов следует применять в исключительных случаях. Требования промышленной безопасности к проектной документации на все виды работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов, определены в Градостроительном кодексе (глава 6, статья 48, п. 1 и п. 4) ФЗ-190 [4]. Для более высокого качества проектов разработка проектной документации может осуществляться на договорной основе проектными организациями. В проектной документации обязательно учитываются все мероприятия и рекомендации по техническим решениям восстановления и усиления конструкций, указанных в заключении экспертизы промышленной безопасности зданий и сооружений. Проектная документация на все виды работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов, должна выполняться только предпринимателями или юридическими лицами, имеющими выданные саморегулируемой организацией свидетельства о допуске к таким видам работ (ст. 48 [4]). Проектные организации, разрабатывающие проектно-сметную документацию, несут ответственность перед заказчиком за качество проектирования, правильное определение сметной стоимости ремонта и за обеспечение выполнения этих работ в сроки, установленные договором. Заказчик несет ответственность перед проектной организацией за представление в требуемом объеме и в установленные по договору сроки исходных материалов для проектирования, в том числе заключение экспертизы, а также за их качество. Строительная подрядная организация, имеющая допуск на производство таких видов работ и, получив проект от заказчика, в свою очередь, до начала работ разрабатывает решения по организации строительства и технологии производства на строительно-монтажные работы собственными силами, либо делает заказ проектным организациям. Строительно-монтажные работы производятся по проекту производства работ (ППР), в котором наряду с общими требованиями СП 70.13330.2012. «Свод правил. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87» [5] должны быть предусмотрены последовательность установки конструкций, установка в проектное положение, устойчивость конструкций и частей здания в процессе возведения. Непосредственно в бригады и звенья на место производства работ выдаются технологические карты (кирпичная кладка, проект производства сварочных работ и т. д.). Строительно-монтажные организации несут ответственность за произведенные строительно-монтажные работы в соответствии с проектом, за надлежащее качество этих работ. Данные о производстве строительно-монтажных работ следует ежедневно вносить в журналы работ по монтажу строительных конструкций. Производственный контроль качества строительно-монтажных работ должен осуществляться в соответствии с СП 48.13330.2011 «СНиП 12-01-2004 Организация строительства» [6]. По завершению работ строительной организацией при приемочном контроле Заказчику должна быть предоставлена исполнительная документация (п. 1.22 [4]). Исполнительная

документация передается Заказчику для хранения и дальнейшего наблюдения за состоянием конструкций, а также своевременного внесения записей в технический журнал по эксплуатации зданий и сооружений обо всех выполненных работах по обслуживанию и ремонтах с указанием вида работ и места. Технический журнал по эксплуатации производственных зданий и сооружений является основным документом, характеризующим состояние эксплуатируемых объектов. И эксперт в ходе проведения экспертизы должен ознакомиться с техническим журналом по эксплуатации, который создает полную техническую характеристику несущих строительных конструкций, произведенных ремонтах. Согласно статье 11 Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [1] производственный контроль за соблюдением промышленной безопасности зданий и сооружений осуществляет организация, эксплуатирующая ОПО. Осуществление производственного контроля организует и координирует назначенная руководителем организации служба производственного контроля. Согласно положению [3] наблюдение за сохранностью здания и сооружения в период эксплуатации должно возлагаться на отдел эксплуатации и ремонта (ОКС, строительный отдел), соответствующие эксплуатационные службы (отдел главного механика, транспортный и др.), которые отвечают за качество проведения всех видов ремонта, начальников цехов, непосредственно эксплуатирующих здания. При отсутствии у Заказчика квалифицированных специалистов в службе надзора за техническим состоянием конструкций, он может заключить со Специализированной организацией договор на абонементное обслуживание по контролю технического состояния конструкций (РД 22-01-97 «Требования к проведению оценки безопасности эксплуатации производственных зданий и сооружений поднадзорных промышленных производств и объектов (обследования строительных конструкций специализированными организациями)» [7].

Соблюдение вышеизложенного порядка организации и технологического взаимодействия служб, а также требований нормативных и технических документов при выполнении мероприятий Заказчиком позволит улучшить производство ремонтно-восстановительных работ, контроль их качества, которое определяет надежность и работоспособность конструкций. Для зданий и сооружений основным видом безопасности является надежность строительных конструкций, безотказность их работы. Поэтому важно при достижении предельно-допустимого технического состояния конструкций эксплуатируемого объекта производить ремонтные работы с целью снижения риска аварии. Качественное выполнение мероприятий Заказчиком в согласованные сроки увеличит долговечность конструкций, уменьшит частоту и сложность ремонта, обеспечит стабильность эксплуатации производственных зданий и сооружений на ОПО.

Список литературы

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116-ФЗ (в редакции от 31.12.2014 № 514-ФЗ).

2. ФНП «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности". Утверждены Приказом Ростехнадзора от 14.11.2013 № 538.

3. МДС 13-14.2000 «Положение о проведении планово-предупредительного ремонта производственных зданий и сооружений». Утверждено Постановлением Госстроя СССР от 29.12.1973 г. № 279.

4. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 22.12.2004 г. № 190-ФЗ в ред. от 31.12.2014 № 533-ФЗ.

5. СП 70.13330.2012. «Свод правил. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87».

6. СП 48.13330.2011 «СНиП 12-01-2004 Организация строительства».

7. РД 22-01-97 «Требования к проведению оценки безопасности эксплуатации производственных зданий и сооружений поднадзорных промышленных производств и объек-

тов (Обследования строительных конструкций специализированными организациями)». Утверждены АОЗТ "ЦНИИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ" от 11.12.1997.

УДК 622.03

СВЯЗЬ МЕЖДУ ВЫХОДОМ ЛЕТУЧИХ, ВЛАЖНОСТЬЮ И ГЛУБИНОЙ ЗАЛЕГАНИЯ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

к.г.-м.н. Гумиров Ш.В., Елизарова Ю.А.
Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Рассматривается взаимосвязь между выходом летучих, влажностью и глубиной залегания угольного пласта на примере Егозово-Красноярского каменноугольного месторождения. Использованы данные разведочного бурения 9 угольных пластов Егозово-Красноярского каменноугольного месторождения.

Ключевые слова: угленосная толща, плита, влажность углей, выход летучих, кластеры.

Анализировались данные, а именно, результаты определения технического анализа 850 керновых проб угля, отобранных на глубине от 10 м до 500 м, об аналитической (адсорбционной) влаге W^a, % (далее – влажность углей), о выходе летучих веществ на сухую беззольную массу (V^{daf} , %), (далее – выход летучих), о зольности рядовой пробы A^d, % (далее – зольность).

В результате математической обработки результатов технического анализа проб установлено следующее:

1. Влажность углей снижается на 3% с глубины 10 м до глубины 500 м. Следовательно, адсорбированная влага содержится в микротрещинах, которые возникают и раскрываются по мере подъема угленосной толщи к поверхности Земли.
2. Существует связь между выходом летучих и влажностью угля, по шкале Чеддока теснота связи заметная, $r = 0,7$ (рис.1):

$$y = 0,0012x^5 - 0,0747x^4 + 1,2352x^3 - 8,4392x^2 + 24,929x + 16,259.$$

Рис.1 . Связь между выходом летучих и влажностью углей (данные без ураганных значений, включены породные прослои угольных пластов)

3. При влажности менее 3,1% связь прямая: по мере роста влажности от 2,2% до 3,1% происходит увеличение среднего значения выхода летучих с 39% до 43,5%. Это свидетельствует о том, что влага менее 3,1% содержится в микротрещинах, как и летучие. Такое низкое содержание влаги характерно для верхней части плит (см. п. 6). Рост содержания летучих объясняем их дренажом из плиты в проницаемую верхнюю часть плиты.

4. При влажности более 3,1% связь обратная: по мере роста влажности от 3,1% до 6,5% выход летучих уменьшается на 3%, от 43,5% до 40,5%. Причина в том, что влага более 3,1% содержится в микротрещинах углей и в крупных порах, через которые дренировали летучие в течение миллионов лет. И это привело к снижению выхода летучих.

5. Существует связь между выходом летучих и зольностью угля – при A^d>12% выход летучих скачкообразно снижается:

- для высоких значений летучих – на 3%,
- для малых значений – на 8%.

6. Причина данного явления в том, что минеральные микровключения увеличивают неоднородность угольной массы, создают микротрещины, через которые дренировали летучие.

7. В осадочной толще выделяются плиты по изменению влажности и по выходу летучих, в виде кластеров. Они взаимно коррелированы. Мощность плит меняется от 10 м до 80 м, при средней мощности около 40 м (рис.2). Плиты выделяются лишь по глубине залегания, но не по стратиграфическому положению в свите. Это указывает на то, что основную роль в возникновении плит играл процесс вывода на поверхность ранее метаморфизованной угленосной толщи, то есть снятие нагрузки от веса перекрывающих пород.

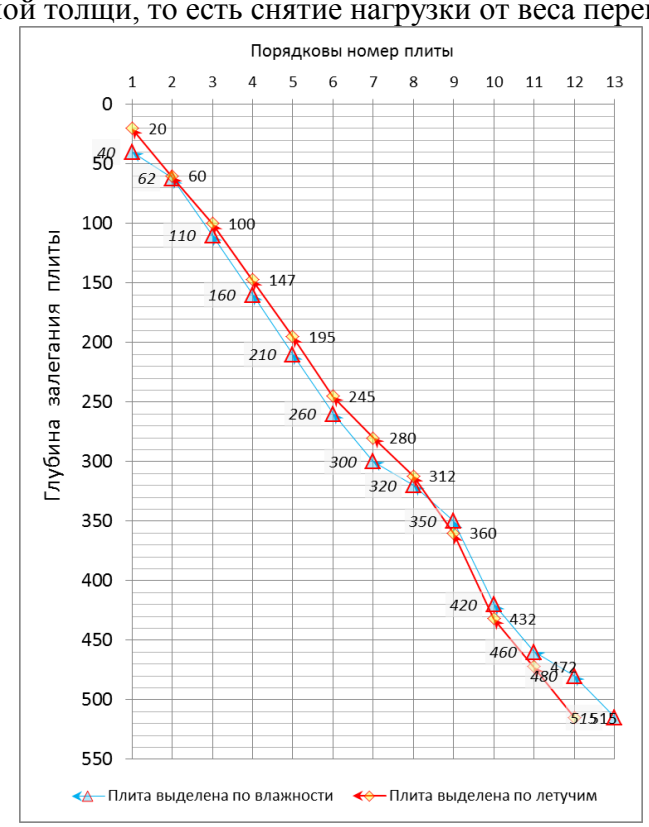


Рис.2 . Сопоставление местоположения плит, выделенных по влажности и по выходу летучих

8. В нижней части каждой плиты максимальные граничные значения кластеров по влажности и по выходу летучих. То есть, внизу плиты влажность и выход летучих имеют наибольшие величины, а в направлении к верхней части плиты эти значения уменьшаются. Следовательно, граница плиты – проницаемая зона, куда дренируют адсорбированная влага и летучие.

9. Для основной части каждого кластера присуща обратная связь между выходом летучих и влажностью (см. п.3).

Основные выводы: в угольном веществе метан, как часть летучих, расположен в межмолекулярном пространстве. *Это следует из существования обратной связи между адсорбированной влагой и летучими*. Метан, как и другие летучие, дренировал в течение миллионов лет сквозь микротрещины, где в настоящее время находится адсорбированная вода.

Впервые установлено плитное строение угленосной толщи и высокая проницаемость границ между плитами. По этим границам происходил дренаж летучих, в том числе и метана, в процессе метаморфизма углей и последующего вывода толщи к земной поверхности.

УДК 622.02

ВЛИЯНИЕ МАТРИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УГЛЯ НА НАКОПЛЕНИЕ ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

к.г.-м.н. Гумиров Ш.В.
Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. На примере Карачиякского каменноугольного месторождения показаны результаты выделения в угольном веществе матричных элементов (комплексов химических элементов), влияюших на накопление примесных элементов в угольном пласте. Использованы результаты химического анализа токсичных элементов и приближенно-количественный анализ основных микроэлементов в углях Карачиякского каменноугольного месторождения.

Ключевые слова: уголь, матричный элемент, химический элемент, примесный элемент, кларк, молекула.

В качестве матричного элемента угольного вещества рассматриваются наиболее распространенные химические элементы и их комплексы, образующие основную массу угля и выявленные в результате исследований.

Для определения матричных элементов применялась разработанная технология геолого-генетического анализа явления адаптации примесных элементов в процессе минерагенеза [1, 2].

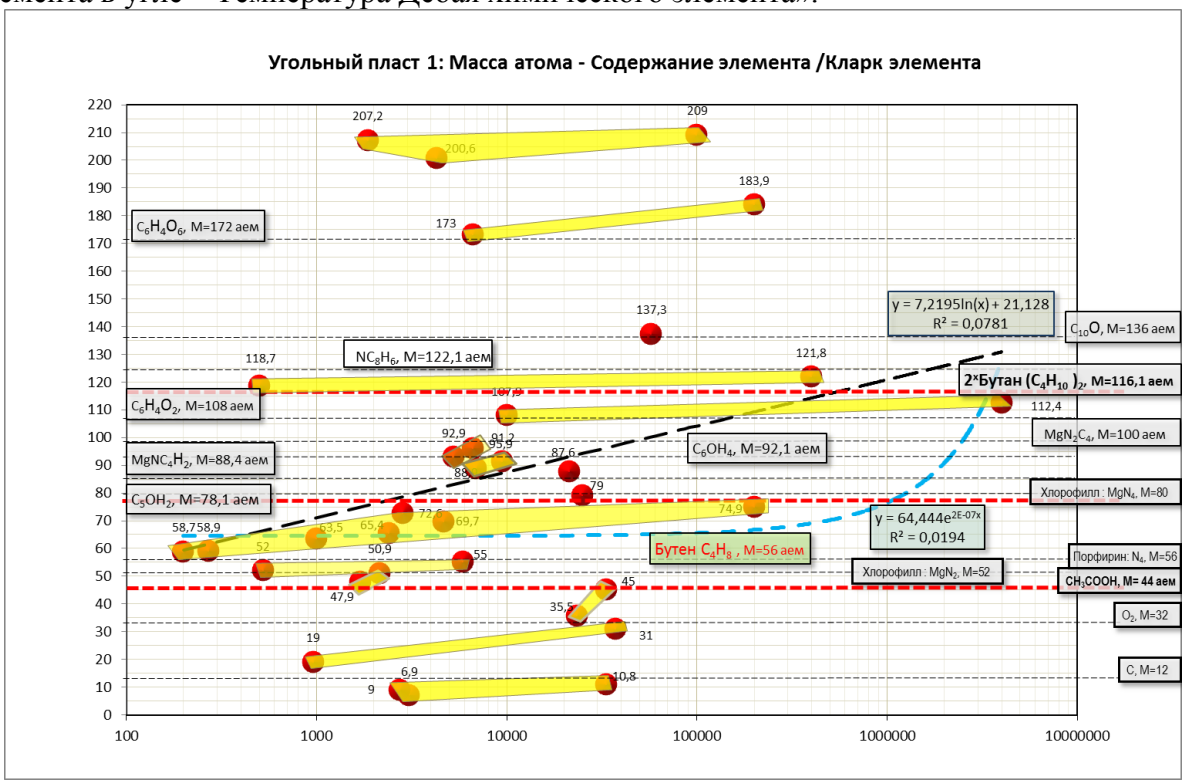
Строились и анализировались следующие диаграммы:

1. Содержание химического элемента в угле – Масса атома химического элемента.
2. Содержание химического элемента в угле – Радиус атома химического элемента.
3. Содержание химического элемента в угле – Температура Дебая химического элемента.
4. Содержание химического элемента в угле – Расстояние до инертного газа химического элемента.
5. Коэффициент концентрации химического элемента в угле – Масса атома химического элемента.
6. Коэффициент концентрации химического элемента в угле – Радиус атома химического элемента.
7. Коэффициент концентрации химического элемента в угле – Температура Дебая химического элемента.

8. Коэффициент концентрации химического элемента в угле – Расстояние до инертного газа химического элемента.

В результате выполненных исследований установлено следующее:

1. Наиболее информативными для выявления матричных элементов угля явились три диаграммы: «Коэффициент концентрации химического элемента в угле – Масса атома химического элемента» (рис.1), «Коэффициент концентрации химического элемента в угле – Радиус атома химического элемента», «Коэффициент концентрации химического элемента в угле – Температура Дебая химического элемента».



По горизонтальной оси - отношение содержания примесных элементов в угле к кларку этих элементов в земной коре; по вертикальной оси – примесных и матричных элементов

Рис. 1. Выделение матричных элементов в угольном веществе по массе примесных и матричных элементов, а.е.м.

2. Главную роль в накоплении микроэлементов в веществе угля играет бутен, точнее, сдвоенная молекула бутена. Известно, что бутен – это газ.

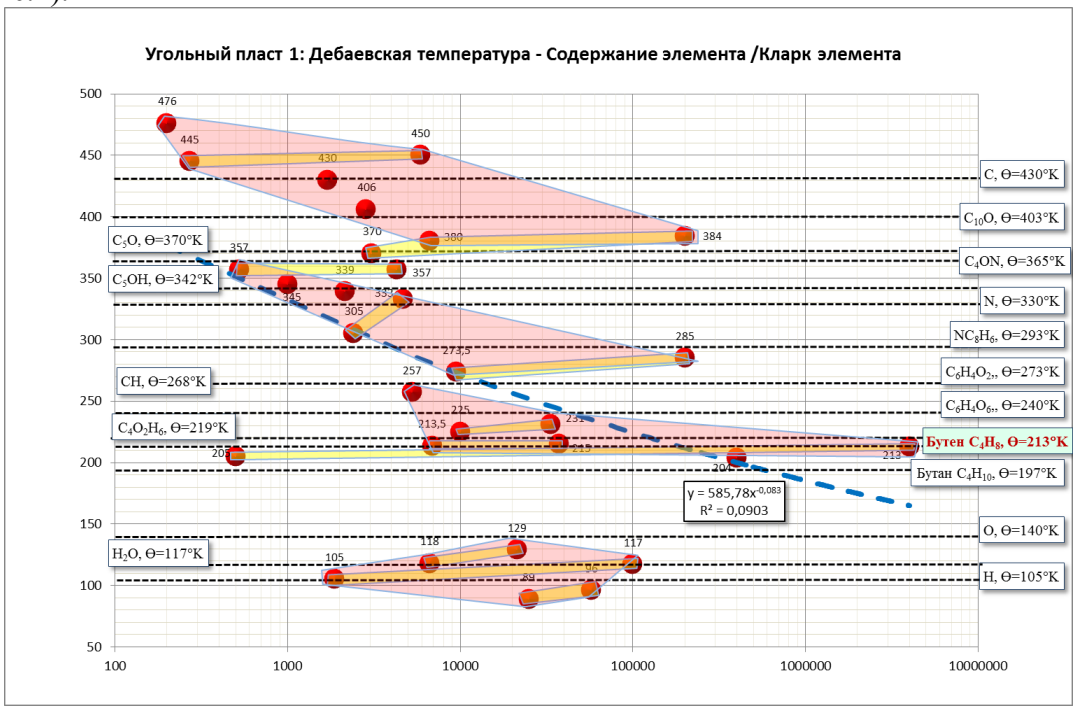
3. Также на накопление микроэлементов в угольном веществе влияют следующие матричные элементы (влияние уменьшается сверху-вниз):

- по массе матричного элемента, удерживающего примесные элементы
  - молекула кислорода O_2, M=32 а.е.м.,
  - сдвоенная молекула бутана $(C_4H_{10})_2$, M=116,1 а.е.м.,
  - бутен C_4H_8, M=56 а.е.м.,
  - часть лигнина C_6OH_4, M=92,1 а.е.м.,
  - сдвоенная молекула бутена $(C_4H_8)_2$, M=112 а.е.м.,
  - часть целлюлозы $C_{10}O$, M=136 а.е.м.,
  - часть хлорофилла NC_8H_6, M=122,1 а.е.м.,
  - часть целлюлозы C_5OH_2, M=78,1 а.е.м.;
- по температуре Дебая, ускорявшего вхождение примесных элементов
  - бутен C_4H_8, Θ=213°K,
  - молекула водорода H_2, Θ=105°K,
  - атом углерода C, Θ=430°K,

– молекула кислорода O_2, Θ=140°K,
– часть лигнина $C_6H_4O_2$, Θ=273°K,
– часть хлорофилла NC_8H_6, Θ=293°K,
– часть лигнина $C_{10}O$, Θ=403°K,
– молекула воды H_2O, Θ=117°K;

- по радиусу матричного элемента, ускорявшего вхождение примесных элементов
– атом азота N_v, R=1,55 Å
– атом магния Mg^-, R=1,6 Å
– молекула воды H_2O, R=1,4 Å
- по расстоянию до инертного газа
– атом магния Mg, e=(-6)
– атом азота N, e=(-3)
– атом кислорода O, e=(+6).

Более высокое содержание примесных элементов с низкой температурой Дебая указывает на то, что основное их накопление происходило в условиях снижения температуры породного массива, то есть, в ходе поднятия угленосной толщи к земной поверхности (рис.2).



По горизонтальной оси - отношение содержания примесных элементов в угле к кларку этих элементов в земной коре;
по вертикальной оси-температура Дебая по шкале Кельвина

Рис. 2. Выделение матричных элементов в угольном веществе по температуре Дебая примесных и матричных элементов

Из полученных результатов исследования следует, что в угле находятся летучие молекулы газов, в том числе бутана, бутена, кислорода, водорода в закрытых микротрещинах и микропорах. Метан, трудно обнаруживаемый по температуре Дебая, а также по массе молекулы, присутствует в составе летучих.

Основные выводы: проведенные исследования показали, что в угольном веществе, в качестве его матричных элементов, присутствуют, наряду с фрагментами целлюлозы и лигнина, газы бутан и бутен, которые иными методами ранее не выявлялись. Обнаруженные матричные элементы способствовали избирательному накоплению в углях некоторых примесных элементов в повышенных количествах.

Список литературы

1. Математический анализ распределения редкоземельных элементов. Часть 2: Метод. указ./ Сиб. гос. индустр. ун-т; сост. Ш.В. Гумиров. Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2014.– 33 с.

2. https://inanimateadaptation.wordpress.com/about/

УДК 622.53

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ВОДООТЛИВА

[1]Саранчук Э.В., [2]к.т.н. Сенкус Вал.В., [3]д.т.н.Стефанюк Б.М., [1]д.т.н. Сенкус В.В.
1 –ООО «Сибниуглеобогащения»,
г. Прокопьевск, Россия
2 - ООО «Проектгидроуголь»,
г. Новокузнецк, Россия
3 – Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Предложено в технологическую схему шахтного водоотлива включать дополнительные элементы в виде механизированного отстойника и тонкослойного осветлителя, которые обеспечивают очистку воды от примесей в подземных выработках.

Ключевые слова: шахтный водоотлив, водосборник, механизированный отстойник, тонкослойный осветлитель.

Основным отличием технологических схем шахтного водоотлива является двухступечатасть очистки шахтных вод в подземных условиях и на поверхности, реализуемым установкой механизированных отстойников с обезвоживанием шлама (рис. 1), обеспечивающих очистку шахтного притока до уровня минерализации под землей и до уровня ПДК на поверхности.

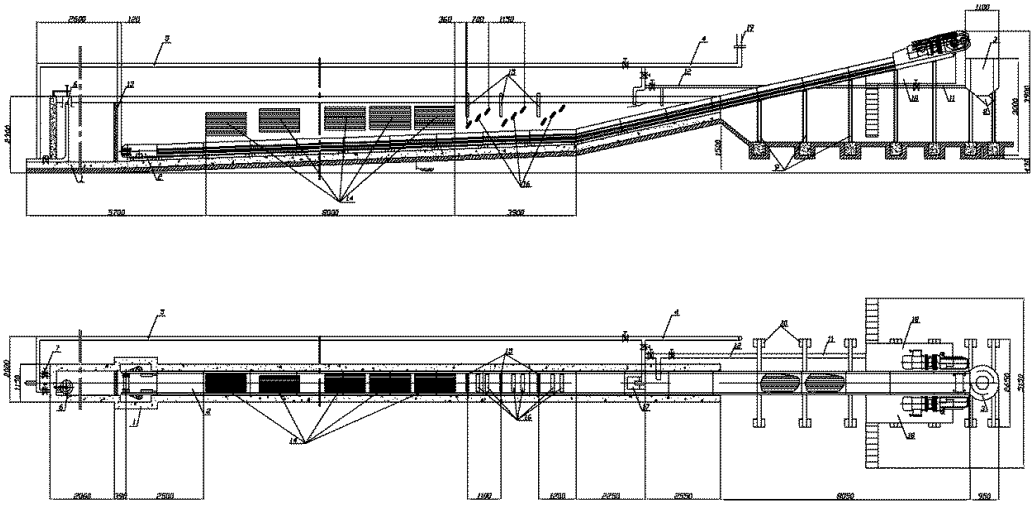


Рис. 1. Механизированный отстойник

Механизированный отстойник разделен на секции (приемная, промежуточные и выходная) и представляет собой канал прямоугольного или трапециевидного сечения, на дно которого устанавливается скребковый обезвоживающий конвейер, а над ним последовательно монтируются модули очистки воды, реализуюшие различные способы ее очистки, механические, электрофизические и др.

Элементами механизированного отстойника являются: устройство сброса воды в приемную секцию плоской струей, перемычка для обеспечения перепуска воды по принципу сообщающихся сосудов между секциями, тонкослойный осветлитель воды типа «жалюзи» для принудительного осаждения взвешенных частиц, продольный тонкослойный осветлитель воды, фильтры, устройства электрокоагуляции, аэрации, озонирования и сброса воды из отстойника.

В условиях подземной очистки нет необходимости глубокой очистки воды, а ставится задача обеспечить работу высоконапорных насосов водоотлива, при этом отпадает необходимость ступенчатого водоотлива на глубоких шахтах, что достигается путем установки в механизированном отстойнике перемычек, тонкослойных осветлителей воды типа «жалюзи», продольных тонкослойных осветлителей воды, фильтров и устройства для сброса воды в водосборник.

На поверхности, при сбросе шахтного притока во внешние водоемы, предъявляются требования соответствия загрязнений предельно-допустимым концентрациям.

Вода должна очищаться по физическим, химическим и бактереологическим показателям, поэтому для удаления водорастворимых веществ, помимо тонкослойных осветлителей и фильтров в механизированном отстойнике необходимо применять модули аэрации, озонирования и электрокоагуляции.

Поперечные водонепроницаемые перегородки реализуют принцип сообщающихся сосудов при перепуске воды у дна отстойника, которые задерживают нерастворимые вещества и предметы с удельной плотностью ниже воды на поверхности приемной секции, оседают на шламе при выгрузке с помощью обезвоживающего конвейера и обеспечивают вертикальное и горизонтальное движение потоков воды по объёму приёмной и последующих секций.

Тонкослойные осветлители типа «жалюзи» (рис. 2) с наклонным расположением относительно горизонтальной плоскости пластинами, установленными под углом 55–60° к горизонтальной плоскости, параллельны, сдвинуты и перекрывают друг друга, наклонены верхней кромкой на встречу потоку и разнесены по длине отстойника. Каждая последующая пластина отстоит от предыдущей на расстоянии равном 0,8–1,0 L (L – ширина пластины), а нижняя кромка предыдущей пластины перекрывается верхней кромкой последующей по высоте на 0,1–0,2 L.

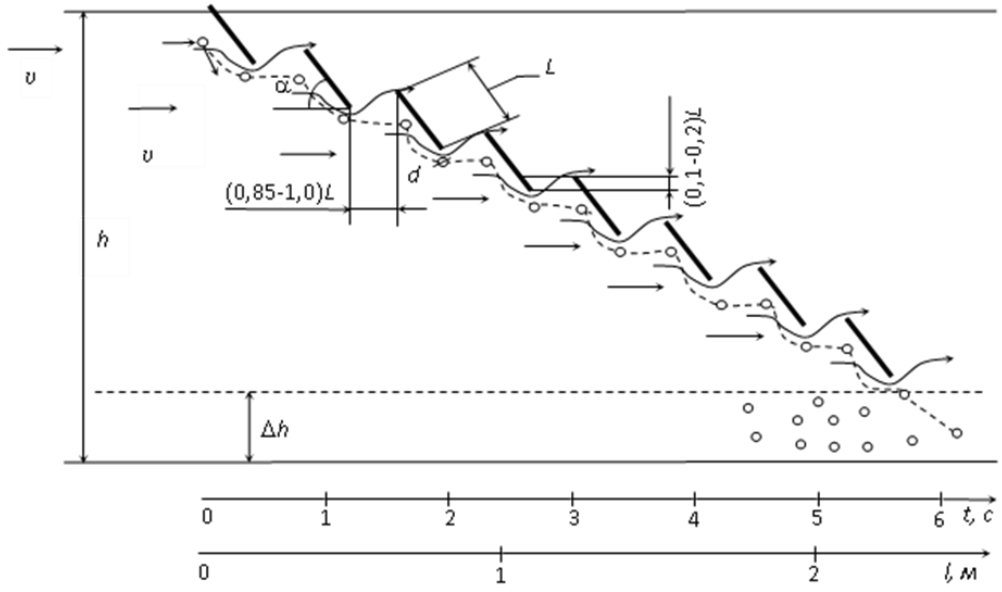
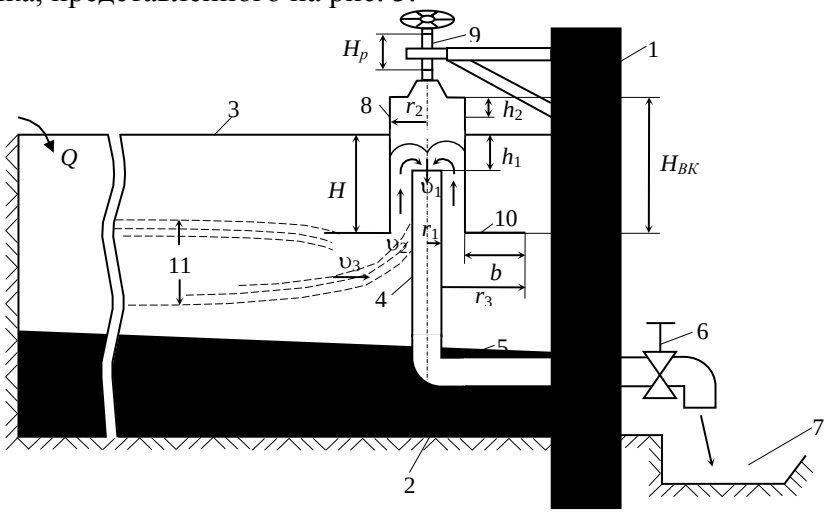


Рис. 2. Тонкослойный осветлитель типа «жалюзи»

Поток воды набегает на пластины и разделяется на два: нижний отражается в направлении дна, а верхняя часть потока в зависимости от его скорости может огибать

пластины и уносить часть взвешенных частиц, которые задерживаются следующими пластинчатыми перегородками, имеющие меньший размер пластин и зазоров между ними. Скорость отраженных частиц возрастает, а измененное направление позволяет быстрее осадить их на дно.

Поддержание уровня воды и постоянной скорости пока в механизированном отстойнике достигается применением устройства для регулирования глубины забора воды из отстойника, представленного на рис. 3.



1 – перемычка; 2 – дно отстойника; 3 – верхний уровень воды в отстойнике; 4 – отводящий вертикальный канал; 5 – отводящий горизонтальный канал; 6 – задвижка; 7 – водобойный колодец; 8 – внешний цилиндр; 9 – винтовой привод; 10 – реборда; 11 – слой воды отстойника, идущий на сброс; 12 – крышка с отверстием для сообщения внешнего отводящего канала с атмосферой; 13 – внешний отводящий канал

Рис. 3. Устройство для сброса и регулирования глубины забора воды

Конструктивные геометрические параметры устройства, отводящего вертикального и внешнего каналов выбираются по установленным зависимостям с учетом притока воды в отстойник (Q, $м^3/ч$), регулируемой глубины погружения внешнего цилиндра в отстойник (H_p, $м$):

– радиус отводящего вертикального канала (r_1), $м$

$$r_1 = 0{,}4\sqrt{Q} \pm 5\%;$$

– внутренний радиус внешнего канала (r_2), $м$

$$r_2 = 0{,}9\sqrt{Q} \pm 5\%;$$

– внешний радиус внешнего канала (r_3), $м$

$$r_3 = 1{,}22\sqrt{Q} \pm 5\%;$$

– ширина реборды (b), $м$

$$b = 0{,}45\sqrt{Q} \pm 5\%;$$

– высота минимального погружения внешнего цилиндра в отстойник (H), $м$

$$H = 0{,}72\sqrt{Q} \pm 5\%.$$

Сброс потока из более чистых слоев воды водоемов, расположенных в глубине водоема, позволяет повысить уровень экологической безопасности внешних водоемов.

Для аварийных ситуаций при переполнении отстойника предусматривается аварийный сброс воды, расположенный выше ее рабочего уровня, а для ремонтных работ в отстойнике монтируют сброс у его дна.

Механизированный водосборник с использованием различных технических устройств очистки воды позволяет очистить ее в подземных условиях до уровня ее естественной минерализации, а на поверхности до уровня ПДК.

УДК 622.53(035)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ВОДООТЛИВА УГОЛЬНЫХ ШАХТ

[1]д.т.н.. Сенкус В.В., [1]к.т.н. Ермаков А.Ю., [1]Саранчук Э.В., [2]к.т.н. Сенкус Вал.В., [3]д.т.н. Стефанюк Б.М.
1 - ООО «Сибнииуглеобогащения»,
г. Прокопьевск, Россия
2 - ООО «Проектгидроуголь»,
г. Новокузнецк, Россия
3 – Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Приведены результаты анализа технологических схем шахтного водоотлива. Предложен вариант аккумуляции и очистки в подземных условиях шахтного притока от твердых частиц с последующей закачкой воды в водоносные пласты.

Ключевые слова: шахтный водоприток, водосборник, водоочистка, насос, фильтрация, водоносные пласты.

Технологическая схема шахтного водоотлива включает следующие технологические звенья: канавки горных выработок с уклоном более 0,03 для сбора шахтного притока; не менее двух подземных водосборников для очистки воды гравитационным способом; коллекторы, соединяющие водосборники с камерами всасов; насосные камеры с высоконапорными насосами или углесосами для выдачи пульпы; сеть трубопроводов с запорной арматурой; отстойники на поверхности для осаждения шлама и осветления воды; очистные сооружения при сбросе воды из отстойников во внешние водоемы.

При многоступенчатом водоотливе технологические схемы дополнительно имеют перекачные камеры с блоками насосов и промежуточными водосборниками на верхних горизонтах.

Количество воды, поступающее в горные выработки, зависит от геологических, гидрогеологических, географических и климатических условий месторождений, способов их разработки, наличия поверхностных и подземных водоемов, сезона и глубины ведения горных работ. Для глубоких шахт величина притока мало изменяется по сезонам и остается в течение года примерно постоянной [5], а для неглубоких – приток в течение года может иметь большой диапазон за счет связи с поверхностными водами через трещины, нарушения и провалы. По данным А. В. Докукина приток увеличивается в 3–10 раз весной на шахтах глубиной до 40 м, на шахтах глубиной до 100 м– в 2–4 раза, а на шахтах глубиной свыше 100 м повышается в 1,3–2 раза.

Разнообразие факторов, влияющих на приток воды, создает значительные трудности в определении величины ожидаемого притока, поэтому прогноз ожидаемого притока производится на основе данных гидрогеологических, геологических и гидрометеорологических исследований, опытного определения притока при разведке месторождения, а также по величине притока шахт, работающих в одинаковых условиях [3], поэтому управление производится в условиях неопределенности информации.

Вода при откачке из подземных водосборников выдается насосами по трубам на поверхность через одну или несколько ступеней перекачных станций [1, 4-5, 10, 13 и др.].

Схемы водоотлива различаются по условиям применения:

1) схемы водоотлива при разработке месторождения на одном горизонте;

2) схемы водоотлива при разработке месторождения на нескольких горизонтах.

Откачка воды на поверхность при наличии одного горизонта может производиться центральной, главной, главной и участковыми водоотливными установками.

В глубоких шахтах, где напор насоса недостаточен для выдачи воды на поверхность, применяют последовательную работу насосов, установленных в камере по бустерной схеме, или используют ступенчатую схему водоотлива в двух вариантах.

Водоотливные установки имеют водосборники. Нижние насосы подают воду в верхний промежуточный водосборник. Схема ступенчатых водоотливных установок позволяет независимо работать водоотливным установкам на верхнем и нижнем горизонтах.

Ступенчатая схема водоотлива может быть выполнена без промежуточных водосборников путем последовательного включения насосов, находящихся на разных горизонтах. Эта технологическая схема имеет ряд недостатков по сравнению со схемой, имеющей промежуточные водосборники: нижние насосы и арматура должны быть усилены, так как находятся под давлением столба воды; усложняются коммуникации трубопроводов, которые должны обеспечить последовательную работу любой пары насосов; понижается надежность работы водоотливной установки (особенно нижней); необходимо регулировать последовательно включенные насосы, чтобы рабочий режим каждого из них находился в рабочей зоне.

При использовании ступенчатой схемы следует рекомендовать вариант с промежуточными водосборниками, когда откачка воды на поверхность может осуществляться несколькими водоотливными установками.

Схема водоотлива реализуются в различных вариантах:

1) с монтажом на каждом горизонте главной водоотливной установки, откачивающей воду на поверхность;

2) с обустройством на верхнем горизонте главной водоотливной установки при подъеме воды с нижних горизонтов вспомогательными водоотливными установками;

3) с перепуском воды с горизонтов в водосборник нижнего горизонта, откуда главная водоотливная установка откачивает ее на поверхность;

4) установкой на нижнем горизонте водоотливной установки, откачивающей воду одновременно с нижнего и верхнего горизонтов.

Недостатками схем являются наличие на каждом горизонте мощной водоотливной установки, большое количество трубопроводов в стволе и сложность обслуживания и технического контроля, наличие взаимной зависимости в работе водоотливных установок.

Откачку воды с двух горизонтов можно осуществить одновременно с параллельной работой на один трубопровод двух насосов, установленных на нижнем горизонте, при этом производительность каждого насоса выбирается в зависимости от притока воды на соответствующем горизонте [5].

Расположение водосборников и насосных камер зависит от многих факторов, на большинстве шахт они располагаются в околоствольных дворах на свежей струе у клетевого ствола и выше уровня воды в подземном водосборнике (рис. 1).

Водосборники главных водоотливных установок должны принять приток воды в течение вынужденных простоев насосов при возможных перерывах подачи электроэнергии или временного выхода из строя насосных установок, а также остановки насосов в период максимальных нагрузок на шахтной подстанции, поэтому объем водосборника главных водоотливных установок должен быть равен 4–6-часовому притоку, а для участковых 2–4-часовой нормальный приток воды [8].

Водосборник должен состоять из двух частей, каждая из которых может быть выключена для чистки [8]. На шахтах водосборники выполняют одновременно роль отстойников, где вода осветляется.

Анализ исследований работ [3, 9, 12-14 и др.] показывает, что осветление воды в водосборниках обычной конструкции без предварительных отстойников происходит неудовлетворительно. В водозаборные колодцы и насосы поступает вода с большим содержанием твердых частиц, а существующие конструкции водосборников в виде выработок большой длины и малого сечения затрудняют механизацию их очистки.

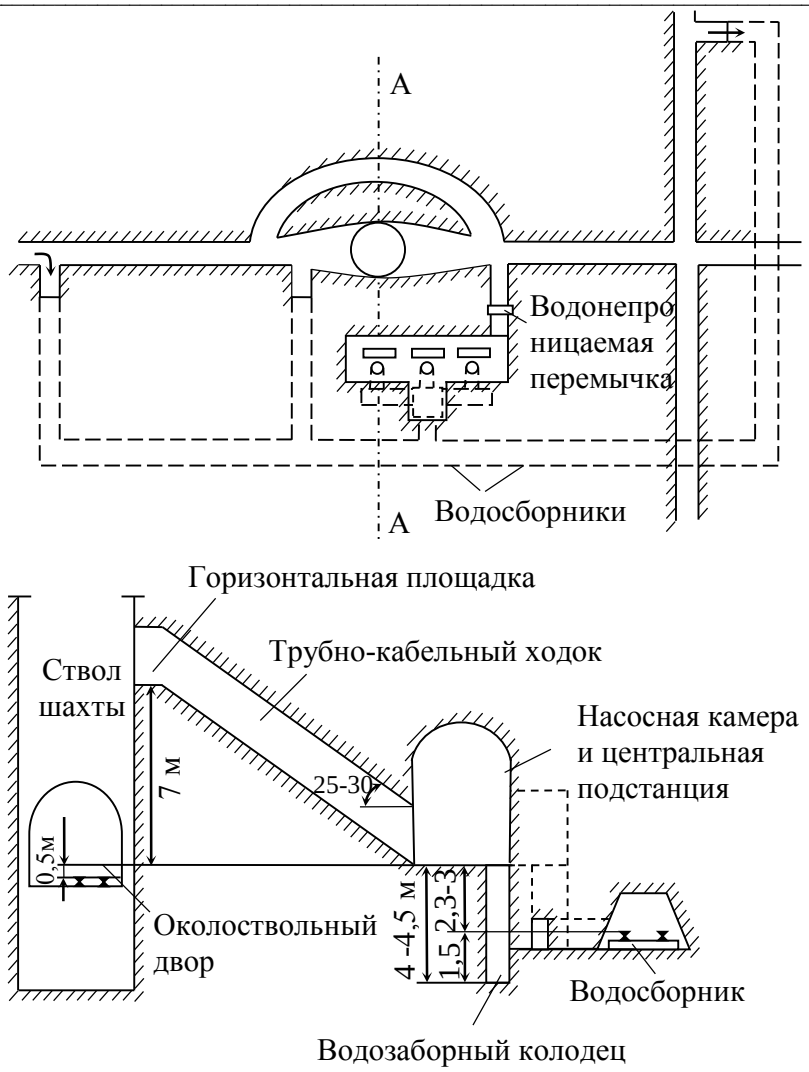


Рис. 1. Схема расположения подземных водоотливных устройств

Опыт шахт, где имеются предварительные отстойники, показал, что более рациональным является устройство перед водосборником предварительного горизонтального отстойника, улавливающего частицы размером более 0,1 *мм*, а вода с частицами крупностью менее 0,1 *мм*, может откачиваться высоконапорными насосами, но в таких условиях, как предлагают авторы работы [3], водосборники должны иметь уклон в сторону насосов, чтобы не происходило их заиливание.

Оседающий шлам уменьшает полезный объем водосборника, сокращая его сечение и уменьшая резерв во времени простоев насосов, которые работают на грязной воде, что ускоряет их износ.

Водосборники должны по мере заиливания регулярно очищаться, а сроки очистки зависят от степени загрязнения шахтной воды и определяются опытным путем. На период максимальных притоков (весенний, осенний) водосборники должны быть очищены [8].

На шахтах применяют следующие способы очистки:

– удаление шлама в вагонетках, перемещаемых вдоль водосборника, которые после загрузки выдаются на поверхность;

– осуществление погрузки шлама в вагонетки вручную, скрепером, диафрагмовыми насосами, погрузочными машинами; водоструйными насосами, гидроэлеваторами; специальными погрузчиками, приспособленными для подъема жидкого шлама;

– откачка шлама насосами или гидроэлеваторами в выработанное пространство;

– размыв шлама струей воды и откачка пульпы на поверхность насосом главного водоотлива, который может останавливаться на капитальный ремонт или специальными шламовыми насосами, подающими пульпу в нагнетательный трубопровод при работающем главном насосе;

– подача пульпы в нагнетательный трубопровод главного насоса через специальные загрузочные устройства (шлюзовые камеры), наполняемые шламовыми насосами и др.

Способы очистки водосборников несовершенны, не обеспечивают своевременного и быстрого удаления шлама, поэтому механизацию и автоматизацию удаления шлама можно произвести при наличии предварительного отстойника.

Одним из требований Правил безопасности [8] является установка в камере не менее трех одинаковых насосов, но для обеспечения 100 %-го резерва они должны быть готовы постоянно к действию, а на период плановых ремонтов необходимо иметь третий насос.

Проведенный анализ технологических схем шахтного водоотлива и звеньев показывает, что они принципиально не изменялись в течение многих десятков лет, а их модернизация и техническое перевооружение идет по пути совершенствования оборудования, обеспечения надежной работы, а также механизации и автоматизации процессов управления оборудованием шахтного водоотлива.

Для кардинальной модернизации технологических схем шахтного водоотлива необходимо решить задачи очистки шахтных вод в подземных условиях и на поверхности, механизировать и автоматизировать процессы очистки водосборников, при этом использовать положительный опыт существующих технологических схем шахтного водоотлива и обеспечить их преемственность, надежность работы, выполнение Правил безопасности и эксплуатации оборудования.

Основные требования, которые выдвигаются к новым системам управления техногенными гидродинамическими процессами в углепородном массиве и дополнительным технологическим звеньям, – высокая надежность работы, преемственность технологических схем, адаптивность новых технологических звеньев, ремонтопригодность, 100% резервирование, промышленная и экологическая безопасность.

Разработка технологических схем экологически безопасного водоотлива базируется на разработанной концепции, принципах управления и способе восстановления гидрологических режимов горнодобывающих предприятий

Основными их отличиями являются:

– очистка шахтного притока в подземных условиях до уровня минерализации шахтных вод в водоносных пластах под землей и пределов ПДК на поверхности;

– закачка воды в водосборники, расположенные в водоносных пластах по их падению за пределами горных работ, и нагнетание воды в скважины водоносных пластов по их падению за пределами горных работ нижних и вскрытых горизонтов.

Отличия требуют разработки требований к способам очистки шахтных вод под землей и на поверхности, а горно-геологические и технологические факторы – соблюдения баланса поглощающей способности пласта и нагнетания воды в скважины, а также сохранения его структуры при подаче воды в скважины под давлением.

С учетом требований и преемственности существующих схем водоотлива разработаны следующие модернизированные системы управления техногенными гидродинамическими процессами в углепородном массиве, которые можно разделить на четыре группы:

1. Технологические схемы с подземной очисткой шахтного притока и нагнетанием в скважины.

2. Технологические схемы с подземной очисткой шахтного притока и закачкой их в подземные водосборники, расположенные в горных выработках водоносных пластов.

3. Технологические схемы с подземной очисткой шахтного притока, нагнетанием воды в скважины и подземные водосборники и выдачей в отстойник на поверхности (рис. 2).

4. Технологические схемы с выдачей воды на поверхность, очисткой в механизированном отстойнике и отстойнике осветлителе.

Возможны различные комбинации и модификации представленных групп.

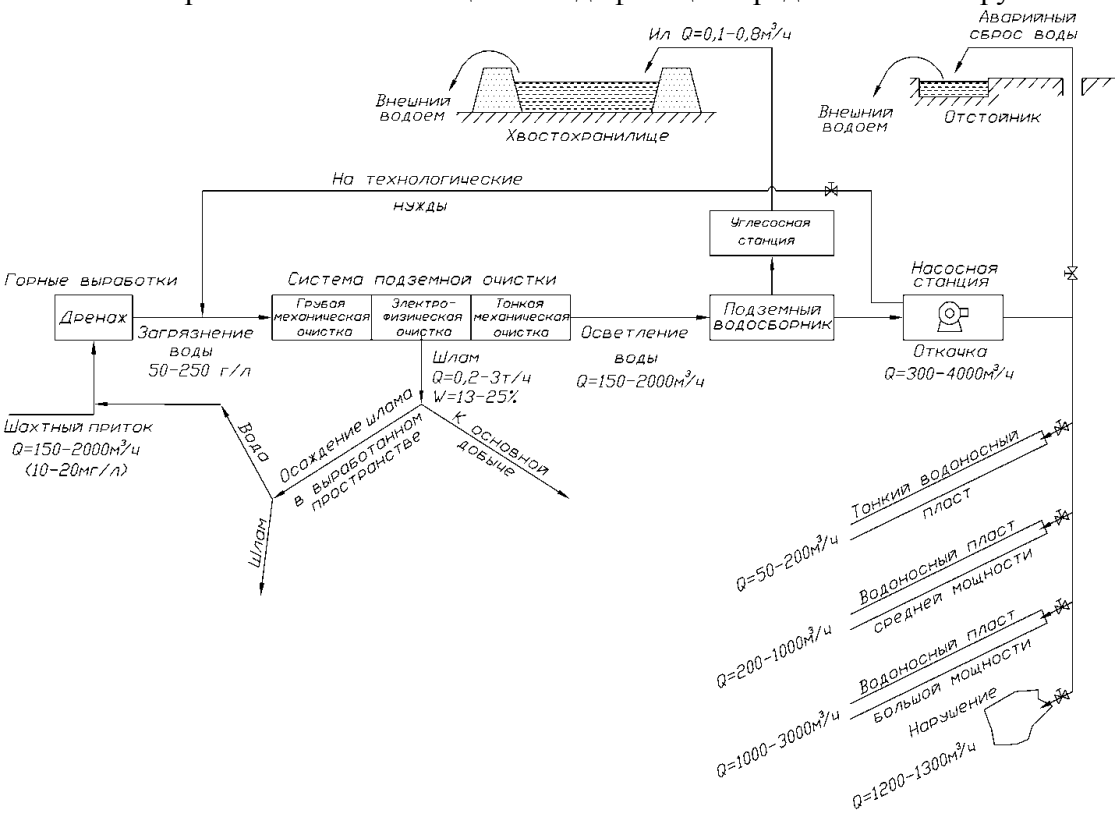


Рис. 2. Общая технологическая схема экологически безопасного водоотлива угольных шахт

При разработке технологических схем используется классификация, которая разделяет водоносные пласты по степени поглощения: водоносные пласты, способные поглощать 50–200 $м^3/ч$ (малой мощности), пласты средние – способные поглощать 200–1000 $м^3/ч$ и мощные – 1000–3000 $м^3/ч$ и более.

Технологические схемы экологически безопасного водоотлива угольных шахт включают горные выработки, оборудование, аппаратуру, обеспечивающие следующие технологические системы водоотлива; аккумуляцию и очистку шахтного притока; выдачу и обезвоживание шлама; аккумуляцию очищенной воды; откачку воды; нагнетание воды в скважины; закачку воды в отстойники.

Каждый из процессов может иметь различные способы реализации, которые порождают варианты технологических схем, а с учетом горно-геологических, технических и технологических факторов их количество многократно увеличивается.

Аккумуляция шахтного притока производится в водосборниках и отстойниках под землей и на поверхности, в которых происходит очистка воды за счет гравитационного осаждения взвешенных частиц, что требует периодической их очистки, но не решает проблему полностью, так как в отстойниках и водосборниках происходит слоевое разделение воды по температурному градиенту. Холодные более плотные слои воды аккумулируются на дне, что препятствует проникновению теплых вод, несущих загрязнения в виде растворенных веществ и взвешенных частиц. В системе управления техногенными гидродинамическими процессами в углепородном массиве недостатки устраняются за счет разделения функций водосборника и отстойника с механизированной выгрузкой и обезвоживани-

ем шлама, изменением направления движения потоков воды, установкой водонепроницаемых перегородок, тонкослойных осветлителей различных конструкций, покрытия их пластин полимерными материалами, придание гидравлического уклона дну отстойника, предотвращающего осаждение илов.

Перепуск воды из водосборника в заборный колодец производится через коллектор, откуда насосами выдается по трубопроводам в скважины водоносных пластов и на поверхность. Насосные камеры и коммуникации не претерпевают изменений [2, 6, 10], но отличаются наличием дополнительной сети трубопроводов для закачки воды в скважины пластов или подземные водосборники, расположенные в водоносных пластах.

Для подачи воды в скважины под давлением перед ней может устанавливаться насос, который обеспечивает нагнетание воды в скважины с заданными параметрами [7, 9].

При наличии в горном массиве нескольких водоносных пластов вода может подаваться в наиболее мощный, способный принять весь шахтный приток или распределяться по пластам, обеспечивая резерв на повышенный шахтный приток. Наиболее благоприятной для окружающей среды является закачка очищенного шахтного притока в водоносные пласты нижних горизонтов, которые наиболее минерализованы в естественных условиях, а пополнение естественного потока вод менее минерализованными водами вызывает разубоживание минерализации водоносного пласта. Выход водоносного пласта на поверхность может быть удален от зоны горных работ за десятки километров, поэтому происходит вместе с фильтрацией вод их минерализация и потоки усредняются по химическому составу.

Список литературы

1. Атрушкевич О.А. Математические модели и методика автоматизированного проектирования гидроучастков с подземным циклом обезвоживания угля и осветления технологической воды [Текст] / О.А. Атрушкевич, Вас.Вит. Сенкус, В.В. Сенкус // Математические и экономические модели в оперативном управлении производством. – М., 1999. – Вып. 3. – 48 с.

2. Богомолов Н.А. Состояние и перспективы развития главных водоотливных установок на угольных шахтах [Текст] / Н.А. Богомолов, Е.А. Воловик, В.К. Гасюкевич // ВНИИЭИуголь. – М. : 1980. – 34 с.

3. Болотских Н.С. Борьба с подземными водами [Текст] / Н.С. Болотских, Д.С. Слободцкий. – Киев: Техника, 1982. – 215 с.

4. Воловик Е.А. Выбор и исследование смывающихся водосборников для водоотливных установок шахт Донбасса [Текст] / Е.А. Воловик, Н.А. Богомолов; НИИГМ им. М.М. Федорова. – Донецк, 1986. – 98 с.

5. Гейер В.Г. Шахтные вентиляторы и водоотливные установки [Текст] : учеб. для вузов / В.Г. Гейер, Г.М. Тимошенко. – М. : Недра, 1987. – 289 с.

6.Очистка шахтных сточных вод за рубежом [Текст] : экспресс-информ. / ЦНИЭИуголь. – М., 1983. – 34 с.

7. Попов В.М. Водоотливные установки [Текст] : справ. пособие / В.М. Попов. – М. : Недра, 1990. – 254 с.

8. Правила безопасности в угольных шахтах [Текст] – Самара: Самарский дом печати, 2003. – 368 с.

9. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок [Текст] / под ред. В.Ф. Чебаевского. – М. : Колос, 1982. – 316 с.

10. Проектирование подземных водосборников с механизированной очисткой [Текст] / Вас.В. Сенкус, С.Г. Фомичев и др. // Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: материалы I Междунар. конф., Новокузнецк, 1996 г. / СибГГМА. – Новокузнецк, 1996. – С. 37–38.

11.Пучков Л.А. Экология горного производства [Текст] / Л.А. Пучков. – М. : Недра, 2004. – 322 с.

12. Разработка механизированных подземных водосборников шахт [Текст] / Вас.В. Сенкус, С.Г. Фомичев. и др. // Перспективы развития горнодобывающей промышленности: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. / СибГГМА. – Новокузнецк, 1996. – С. 44–45.

13.Сенкус В.В. Пути повышения эффективности работы шахтного водоотлива [Текст] / В.В. Сенкус., Вас.В. Сенкус // Перспективы развития горнодобывающей промышленности: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. / СибГГМА. – Новокузнецк, 1997. – С. 95–96.

14. Сенкус В.В. Технология очистки отстойников угольных шахт на поверхности [Текст] / В.В. Сенкус, Вас.В. Сенкус // Перспективы развития горнодобывающей промышленности: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. / СибГГМА. – Новокузнецк, 1997. – С. 93–94.

УДК 628.3.034

РЕКОНСТРУКЦИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ШАХТЫ «КЫРГАЙСКАЯ»

Ворон Л.В., Ланге Л.Р.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье изложены мероприятия, предусмотренные реконструкцией очистных сооружений шахты «Кыргайская», направленные на создание наилучших условий процессов отстаивания с целью достижения более высоких эффектов извлечения поступающих загрязнений, на выполнение нормативных требований эксплуатации и техники безопасности подобных сооружений.

Ключевые слова: шахтный водоотлив, сточные воды, загрязняющие вещества, горизонтальные отстойники, камеры фильтрации, обеззараживание, эффект очистки.

Со сточными водами угольных предприятий ежегодно в водоемы поступает значительное количество взвешенных веществ, нефтепродуктов, фенолов, тяжелых металлов. Масса сбрасываемых загрязнений превышает самоочищающую способность водоемов, что приводит к их загрязнению, деградации, ограничению или полному исключению из народнохозяйственного использования [3,4].

Большинство очистных сооружений, эксплуатируемых в настоящее время, основываются на применении только механических методов очистки, и, как правило, это отстаивание в горизонтальных отстойниках и фильтрация через фильтрующие дамбы из различных материалов. Кроме того, на сооружениях эксплуатируемых длительный период времени, очень часто не соблюдаются гидравлические режимы процессов очистки, такие как скорость движения стоков в отстойной зоне, глубина и длина зоны отстаивания, высота слоя накопленного осадка, длина пути фильтрации (ширина фильтрующей дамбы), фракционный состав материала тела дамбы и т. д. Все эти нарушения приводят к снижению эффектов задержания загрязняющих веществ, которые могут быть на данных сооружениях при правильной их эксплуатации.

Одним из направлений решения проблемы уменьшения или предотвращения загрязнения водоемов является повышение эффективности работы существующих сооружений за счет их реконструкции и создания наиболее благоприятных режимов их работы с целью повышение эффективности очистки.

Реконструкция очистных сооружений шахты «Кыргайская» направлена на решение этих задач. На существующие очистные сооружения шахты поступают сточные воды шахтного водоотлива в количестве 2900,00 тыс. $м^3$/год, 7650,00 $м^3$/сут при нормальном

притоке и 11300,00 м^3/сут - при максимальном; поверхностный сток с основной промплощадки - 11,00 тыс. м^3/год и 2,65 тыс. м^3/год с площадки наклонных стволов.

Основными загрязняющими веществами в поступающих шахтных водах являются:

- взвешенные вещества – 144,00 мг/л;
- нефтепродукты – 0,15 мг/л;
- БПК полн. – 2,50 мг/л;
- ХПК – 86,00 мг/л;
- Железо общее – 8,00 мг/л;
- Марганец – 0,13 мг/л;

в поверхностном стоке:

- взвешенные вещества до 800,00 мг/л;
- нефтепродукты до 60,00 мг/л;
- БПК полн. – 20,00 мг/л.

Существующие очистные сооружения состояли из трех ступеней грунтовых горизонтальных отстойников, и одного, используемого в качестве аварийной емкости, и насосной станции осветленной воды. Часть очищенных стоков после обеззараживания подается на производственные нужды шахты, а избыток сбрасывается в реку Кыргайчик.

За время эксплуатации шахты отстойники были заполнены шламом до критических отметок и не обеспечивают необходимых гидравлических режимов работы сооружений и требуемых эффектов очистки. Качественный состав очищенных шахтных вод не удовлетворяет установленным предельно допустимым концентрациям (ПДК) для данного водоема и предприятие несет потери за счет штрафов за превышение нормативов по сбросам. Все три секции эксплуатируемых сооружений работали последовательно и не имели каких либо обводных трубопроводов, обеспечивающих условия независимой работы любой ступени очистки. Кроме того, вокруг сооружений нет необходимых технологических проездов, что делает невозможным освободить сооружения от накопленного шлама и создать необходимые гидравлические условия очистки стоков.

Для создания нормативных условий очистки, соблюдения технологических требований и требований техники безопасности при эксплуатации подобных сооружений реконструкцией данных очистных сооружений необходимо было:

- обеспечить технологические проезды вокруг каждого сооружения;
- освободить существующие отстойники от накопленного шлама;
- создать возможность независимой работы и в случае необходимости выведения из работы любого сооружения, входящего в состав очистных сооружений;
- повысить эффективность работы очистных сооружений с целью достижения качества очистки стоков, позволяющего максимально использовать их на производственные нужды шахты или сбросить избыток без ущерба для водоема.

Кроме того, в ближайшие годы ожидается наращивание производительности шахты, что повлечет за собой увеличение шахтного водопритока, и, соответственно, притока стоков на очистные сооружения. В связи с этим существующая насосная станция осветленной воды не справится с увеличенным количеством поступающих стоков и не обеспечит требуемые напоры.

Реконструкцией очистных сооружений предусмотрено устройство дополнительных технологических проездов вокруг каждой секции отстойников, что даст возможность регулярно проводить осмотр сооружений и своевременно осуществлять их ремонт.

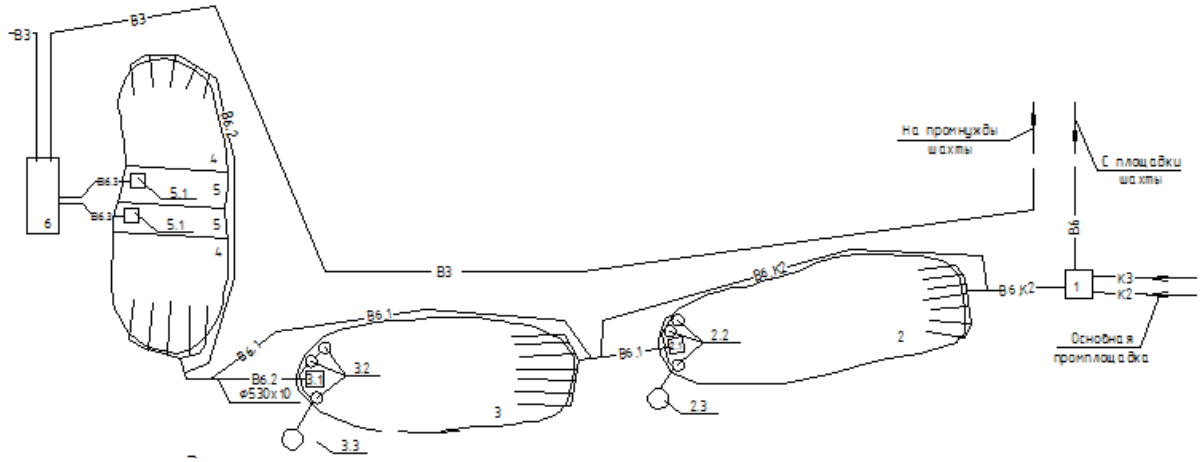
Для создания условий независимой работы каждого сооружения и возможности в любой момент выведения его из работы, предусмотрены обводные трубопроводы с соответствующей отключающей арматурой.

Для обеспечения требуемых эффектов очистки поступающих стоков в условиях действующих сооружений изменена существующая схема их обработки. В результате чего вместо третьей ступени отстаивания (отстойник №3) предусмотрено устройство двух независимых секций фильтрации. Кроме того отстойники №1 и №2, работающие последова-

тельно по двух ступенчатой схеме отстаивания, дооборудованы водораспределительными, водосборными и нефтесборными системами. Схема реконструкции существующих очистных сооружений шахты «Кыргайская» представлена на рис. 1.

Основными загрязняющими веществами, содержащимися в поступающих на очистные сооружения стоках, являются грубодисперсные примеси и нефтепродукты сорбированные на взвешенных веществах. Взвешенные вещества в основном представлены частицами угля, нефтепродукты - маслами виде пленок, органические загрязнения - преимущественно в твердом и частично растворенном состоянии.

В качестве основных очистных сооружений используются два существующих грунтовых заглубленных отстойника, работающих последовательно по двух ступенчатой схеме отстаивания. В отстойнике №3 устраиваются две независимые секции фильтрации, работающие параллельно. В качестве фильтрующей загрузки используются горелые породы фирмы «ООО Аргиллит» (г. Киселевск). Осветленная вода из камер фильтрации собирается водосбросными колодцами шандорного типа и насосной станцией подается на использование для полива технологических дорог, на производственные нужды шахты, а избыток сбрасывается после предварительного обеззараживания. Обеззараживающие ультрафиолетовые установки марки УДВ-100/14,00 установлены в насосной станции осветленной воды.



Экспликация сооружений:

1 – Камера гашения напора
2 – Отстойник I ступени отстаивания
2.1 – Водосбросное устройство
2.2 – Нефтесборное устройство
2.3 – Колодец для сбора нефтепродуктов
3 – Отстойник II ступени отстаивания
3.1 – Водосбросное устройство
3.2 – Нефтесборное устройство
3.3 – Колодец для сбора нефтепродуктов
4 – Секции фильтрации
5 – Прудок осветленной воды
5.1 – Водосбросной колодец
6 – Водопроводная насосная станция осветленной воды

Условные обозначения трубопроводов:

К2 – Дождевая канализация с основной промплощадки
К3 – Трубопровод производственных стоков
В6 – Трубопровод шахтных вод
В6.1 – Трубопровод шахтных вод после первичного отстаивания
В6.2 – Трубопровод шахтных вод после вторичного отстаивания
В6.3 – Трубопровод шахтных вод после фильтрования
В3 – Трубопровод очищенной шахтной воды после обеззараживания

Рис. 1. Схема реконструкции очистных сооружений шахты «Кыргайская»

Для достижения максимально возможных эффектов отстаивания в существующих отстойниках и создания наиболее благоприятных гидравлических режимов очистки воды шахтного водоотлива и поверхностного стока с промплощадки шахты, поступающих под остаточным напором, предусмотрена камера гашения напора. Камера рассчитана на трехминутное пребывание в ней стоков. Гашение напора в ней происходит в слое жидкости. Безнапорный ввод стоков обеспечивает самотечный устоявшийся режим в водораспределительной системе отстойника №1. Для создания благоприятных условий для очистки поступающих стоков отстойники №1 и №2 дооборудованы водораспределительными систе-

мами. Конструкция водораспределительной системы создает условия рассредоточенного впуска стоков в зону отстаивания под уровень воды. В результате чего происходит быстрое затухание скорости потока, что способствует созданию ламинарного движения воды в зоне отстаивания, тем самым предотвращается взмучивание ранее выделенного осадка. За счет этого достигается лучшее осаждение механических примесей и значительное повышение эффективности процесса отстаивания. Одновременно, рассредоточенный впуск стоков позволяет равномерно распределить их по всему сечению отстойной зоны и увеличить коэффициент использования ее объема.

При многосуточном отстаивании стоков (семь суток) согласно п.7.7 [6] эффект очистки в отстойнике №1 по основным загрязняющим веществам составит: по взвешенным веществам – 85%, по нефтепродуктам – 80%, по $БПК_{полн}$ – 70%. Остаточная концентрация загрязнений после первой ступени отстаивания следующая:

- взвешенные вещества – 44,08 мг/л;
- нефтепродукты – 0,123 мг/л;
- $БПК_{полн.}$ – 6,00 мг/л.

Перепуск стоков после первой ступени отстаивания на вторую (отстойник №2) осуществляется водосборной системой с поплавковыми водосборными устройствами. Их конструкция позволяет забирать средние более чистые слои отстоянной воды и накапливать длительное время верхний слой, в котором аккумулируются выделенные нефтепродукты. Рассредоточенный отбор воды из отстойников через вновь установленную водосборную систему сохраняет устоявшийся ламинарный режим в зоне отстаивания, тем самым предотвращается вторичное загрязнение отстоянных стоков и сохраняются уже достигнутые эффекты очистки. Удаление выделенных нефтепродуктов при отстаивании осуществляется периодически по мере их накопления через предусмотренную реконструкцией нефтесборную систему с поплавковыми нефтесборными устройствами, отводящими только верхние слои жидкости в нефтесборный колодец. Уловленные нефтепродукты автотранспортом вывозятся на регенерацию на существующую установку ЭКО-Ф2 «ОАО СУЭК-Кузбасс».

Осветленные стоки после первой ступени отстаивания поступают в водораспределительную систему отстойника №2. Назначение и конструкция водораспределительной, водоотводящей и нефтесборной систем отстойника №2 аналогичны отстойнику №1. Процесс очистки и гидравлические режимы второй ступени отстаивания подобны процессам первой ступени. Время отстаивания на второй ступени составляет около шести суток. Эффекты очистки на второй ступени по взвешенным веществам – 80%, нефтепродуктам – 70%, по $БПК_{полн.}$ – 60%. Остаточная концентрация загрязнений, поступающих на следующую ступень очистки - фильтрацию, составляет:

- взвешенные вещества – 8,80 мг/л;
- нефтепродукты – 0,037 мг/л;
- $БПК_{полн.}$ – 2,40 мг/л.

Отведение очищенных стоков и удаление нефтепродуктов из отстойника второй ступени осуществляется идентично отстойнику первой ступени.

Для достижения качества очистки стоков по основным загрязняющим веществам, удовлетворяющего требованиям водоема рыбохозяйственного назначения, которым является река Кыргайчик, в существующем отстойнике №3 устраиваются две независимые секции фильтрации, работающие параллельно. Секции фильтрации заполнены местными фильтрующими материалами – горелыми породами с крупностью зерен 10-20 мм поставляемыми фирмой «ООО Аргиллит». Горелые породы обладают высокими грязеемкостью, сорбционными свойствами по нефтепродуктам и прочностными характеристиками [5].

Для создания равномерного распределения стоков по всему объему секций фильтрации ввод их осуществляется в каждую секцию самостоятельной водораспределительной системой, расположенной вдоль одной из оградительных дамб. Фильтрация идет снизу вверх с малыми скоростями через слой фильтрующей загрузки.

Свободный равномерный отвод осветленной воды из камер фильтрации осуществляется водосбросными колодцами шандорного типа. Конструкция водосбросных колодцев позволяет равномерно забирать верхние слои осветленной воды в водопроводную насосную станцию. Качество осветленных шахтных и поверхностных вод следующее:

- взвешенные вещества – 1,76 мг/л;
- нефтепродукты – 0,015 мг/л;
- БПК.$_{полн.}$ – 0,96 мг/л.

Для подачи очищенных шахтных вод на использование во вновь построенной водопроводной насосной станции осветленной воды установлены 3 насоса марки NK 200/200 производительностью 200 м^3/ч с напором 48 м вод. ст (2 рабочих, 1 резервный при максимальном притоке шахтных вод и 1 рабочий и 2 резервных при нормальном).

Для обеззараживания осветленной воды в помещении насосной станции на отметке 0,00 предусмотрены четыре ультрафиолетовые бактерицидные установки марки УДК-100/14 производительностью 100 м^3/ч каждая. При максимальном притоке осветленной воды рабочими являются все установленные бактерицидные установки, при нормальном – три рабочие, одна в резерве.

Очищенные шахтные и поверхностные воды используются на производственные и противопожарные нужды шахты, а так же для полива технологических дорог. Избыток осветленной воды сбрасывается в реку Кыргайчик.

Реконструкция данных очистных сооружений позволила создать необходимые технологические и безопасные условия эксплуатации и гидравлические режимы очистки стоков, выдержать требования по ПДК для данного водоема по основным загрязняющим веществам, что снизило экологическую нагрузку на него по взвешенным веществам, нефтепродуктам и БПК$_{полн.}$

Для соблюдения всех требований ПДК к сбрасываемому стоку, а именно по содержанию тяжелых металлов и фенолам, требуется введение в схему очистки стоков более глубоких физико-химических методов [6]. Наиболее приемлемыми из них на действующих сооружениях, с точки зрения осуществления и капитальных вложений, являются электрохимические, а именно – электрокоагуляция [4, 6].

Список литературы

1. Дьяков Е.В., Ворон Л.В. Очистка шахтных вод // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2012. – Ч. III, Вып. 16. - С. 54-58.

2. Кривцова Е.Г., Ворон Л.В. Очистка шахтных вод // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2012. – Ч. III, Вып. 16. - С. 69-72.

3. Беркетова Е.А., Ворон Л.В. Очистка карьерных вод с территории угольного разреза // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2012. – Ч. III, Вып. 16. - С. 58-62.

4. Кривцова Е.Г., Ворон Л.В. Электрокоагуляция в очистке сточных вод.//Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2011. – Вып. 15. - С. 156-161.

5. Гохман Б.М. Ланге Л.Р. Обследование водопроводных очистных сооружений // Водоочистка, 2010. - №6. - С. 38-40

Семененко А.А., Ворон Л.В. Очистка шахтных вод // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2009. – Вып. 13. - С. 108-113.

6. Сапрыкин И.С., Ворон Л.В. Электрохимические методы обработки .производственных сточных вод. // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новокузнецк: изд. Сиб.ГИУ, 2014. – Ч.IV, Вып. 18. - С.232-236.

7. Проектирование сооружений для очистки сточных вод. Справочное пособие к СНиП / Всесоюз. комплекс. н.-и. и конструкт.- технолог. ин-т водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии. – М.: Стройиздат, 1990. –192с.

УДК 628.3.034

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРЕЛЫХ ПОР В КАЧЕСТВЕ ФИЛЬТРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД

Ланге Л.Р., Ворон Л.В.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье изложен опыт эксплуатации станции очистки шахтных вод с электрокоагуляцией и напорными фильтрами. Представлен местный фильтрующий материал - горелые породы, обладающий высокими фильтрационными свойствами, который может быть использован для очистки шахтных вод.

Ключевые слова: шахтные воды, очистка, фильтрование, фильтрующие материалы, горелые породы.

В настоящее время проблема очистки шахтных вод становится все актуальнее. Это обусловлено рядом причин, в том числе и высокими штрафами (нормативами платы) за загрязнение водных объектов. По действующим санитарным нормам и правилам шахтные воды должны проходить очистку до того, как будут сброшены в открытый водоем, поскольку содержат вещества в концентрациях, значительно превышающих предельно допустимые для рыбохозяйственных водоемов.

По данным Государственного доклада о состоянии окружающей среды, в 2009 году добывающей промышленностью было сброшено в водные объекты 1 423,59 млн. $м^3$ сточных вод, из них порядка 30% сброшено без очистки. В том же Кузбассе объем сбрасываемых в водоемы шахтных вод только угольщиками практически втрое превышает объем питьевой воды, потребляемой всеми жителями региона.

Загрязнение шахтных и карьерных вод происходит в основном мелкодисперсными взвешенными частицами добываемого полезного ископаемого и вмещающих пород, которые образуются при бурении взрывных скважин и шпуров, дроблении пород взрывным способом, работе проходческих и очистных комбайнов, погрузочных и транспортных работах. В связи с высоким уровнем механизации горных работ происходит загрязнение шахтных и карьерных вод нефтепродуктами. В результате гниения деревянных крепей и других конструкций возникает бактериальное загрязнение шахтных и карьерных вод. Физико-химический состав этих вод отличается большим разнообразием, что определяется не только технологическими и производственными факторами, но и различным составом подземных и поверхностных вод в районах разработки полезных ископаемых.

На большинстве угольных шахт и карьеров используется технология очистки производственных сточных вод с помощью гравитационного отстаивания. Как правило, отстаивание происходит многоступенчатое. Данная технология не позволяет снизить содержание взвешенных веществ до нормативных требований.

Содержание взвешенных веществ в сточных водах угольных шахт сильно отличается и составляет от 100 мг/л до 2500 мг/л. Применение исключительно отстойников явля-

ется малоэффективным. К тому же они требуют значительных площадей, приводят к заболачиванию территории. Очистка таких отстойников очень трудоемка и практически невозможна в зимний период.

В то же время снижение расхода дорогостоящей и дефицитной питьевой воды для производственных нужд, связанных с хозяйственно-питьевым водоснабжением, возможно за счет использования шахтных вод. Очищенная вода может быть использована в процессе добычи угля для нужд комплексного обеспыливания, включающее нагнетание воды в угольный пласт с целью дегазации и предотвращения внезапных выбросов газа и пыли, а также интенсивного пылеподавления в процессе разработки. Так же, шахтные воды могут использоваться для устройства водяных заслонов на входящей и исходящей струях забоев, пластов или крыльев шахт, для орошения забоя при работе очистных и подготовительных комбайнов, транспортных средств, бурении дегазационных скважин и шпуров с промывкой. Кроме того, значительный объем шахтной воды необходим поверхностным комплексам шахт и обогатительным фабрикам.

В 80-х годах кафедрой Водоснабжения и водоотведения на шахте «Байдаевская» (г. Новокузнецк) была запроектирована и пущена в эксплуатацию станция очистки шахтных вод производительностью 1200 $м^3$/сутки с электрокоагуляцией и напорными фильтрами. Качество очистки соответствовало требованиям на питьевую воду, которая подавалась на пылеподавление и орошение. Испытание работы электрокоагулятора показали, что наилучший эффект дают алюминиевые пластины.

Современная схема очистки шахтных и карьерных вод от содержащихся загрязнений предполагает использование нескольких последовательных процессов:

- дозирование реагентов для протекания процессов коагуляции, нейтрализации и флокуляции или использование электрокоагуляции перед гравитационным отстаиванием [1];
- флотационная обработка;
- доочистка на фильтрах;
- обеззараживание очищенной воды;
- обезвоживание шлама.

Завершающим этапом очистки шахтных вод является фильтрование. При фильтровании происходит и частичное обеззараживание. В процессе фильтрования из воды выделяются диспергированные частицы загрязнений, коллоидные частицы и значительная часть бактерий. Фильтрование может осуществляться на зернистых напорных или открытых фильтрах.

Основным рабочим элементом фильтровальных сооружений является фильтрующий слой, выполненный из зернистого материала. Правильный выбор вида и характеристик фильтрующего слоя определяют эффективность и технологические показатели работы сооружений. При выборе фильтрующего материала исходят из его стоимости и возможности получения в районе расположения данной станции, при условии соответствия выбранного материала техническим требованиям.

К основным характеристикам зернистого фильтрующего материала относятся гранулометрический состав и неоднородность, механическая прочность, химическая стойкость, санитарно-гигиенические показатели, плотность, межзерновая пористость засыпки и форма зерна.

Технологические свойства фильтров во многом определяются пористостью фильтрующего слоя и формой зерна. Чем выше пористость, тем эффективнее работает фильтр. Особенно высокими фильтрационными свойствами обладают зернистые материалы, получаемые дроблением пористых кусковых материалов.

Наиболее распространенным фильтрующим материалом до недавнего времени являлся кварцевый песок – речной или карьерный. И сейчас проектировщики закладывают этот материал во вновь строящие объекты. Традиционно поставщиками кварцевого песка

для фильтровальных сооружений являлись Волгоградский и Погранский (Ленинградская область) карьеры. Однако их запасы ограничены и к настоящему времени истощены. К тому же кварцевый песок не обладает высокими фильтрационными свойствами.

В Кемеровской области в г. Киселевске на шахте «Дальние горы» после ее закрытия создано предприятие по производству горелых пород в качестве фильтрующего материала [2]. Особенностью этого материала является то, что он образован в результате подземных пожаров без доступа воздуха тысяча лет назад из аргиллитов, алевролитов и песчаников и обладает постоянным качеством. Химический состав данных горелых пород: SiO_2 – 68.7%; Al_2O_3 –21,5%; Fe_2O_3 –4,7%; MgO MnO и др – 5,6%. В табл. 1 представлен сравнительный анализ показателей местных фильтрующих материалов.

Таблица 1

Параметры фильтрующей загрузки

Материал	Плотность, г/см^3	Насыпная объемная масса, кг/м^3	Пористость, %			Механическая прочность, %		
			макс.	мин.	средн.	измельчаемость	истираемость	суммар. износ
Кварцевый песок	2,6	1600	34	29	30	4,0	0,5	4,5
Керамзит дробленый	2,1	500	62	56	59	3,7	0,4	4,1
Горелые породы «Аргиллит» г. Киселевск	2,5	1250	60	52	56	0,4	0,1	0,5
Дробленый гравий	2,6	-	54	50	52	3,4	0,2	3,6
Альбитофир п. Горный, Новосибирской обл.	2,53	-	43	36	39	0,7	0,26	0,96

Предпочтительный выбор горелых пород фирмы «Аргиллит» в качестве фильтрующего материала для очистки шахтных вод обусловлен следующими факторами:

- материал имеет разрешение на применение в хозяйственно питьевом водоснабжении, поэтому может быть использован для очистки шахтной воды, которая будет использована для целей пылеподавления и орошения;
- обладает высокими фильтрационными свойствами, механической прочностью;
- готовится любых фракций по заявке потребителя и не требует дополнительных затрат на дробление и рассев.

Кроме того, он хорошо зарекомендовал себя в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения практически всех городов Кемеровской области, а также в гг. Новосибирске, Омске, Барнауле, Красноярском крае и Иркутской области [3].

Горелые породы могут использоваться как в однослойных, так и двухслойных фильтрах в качестве нижнего слоя, так как имеют достаточно высокую плотность, а при необходимости и в качестве поддерживающих слоев.

Вывод. Применение высокоэффективного фильтрующего материала из горелых пород на стадии фильтрования позволит значительно увеличить эффективность извлечения мелкодисперсных и эмульгированных загрязнений, предотвратить сброс недостаточно очищенных шахтных вод в водоемы и одновременно снизить расходы дорогостоящей и дефицитной питьевой воды для нужд, связанных с хозяйственно-питьевым водоснабжением производства.

Список литературы

1. Сапрыкин И.С., Ворон Л.В. Электрохимические методы обработки производственных сточных вод / В кн: Сб. трудов Всеросс. научн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. – Новокузнецк: изд. Сиб.ГИУ, 2014. - С.232 – 236.

2. Ланге Л.Р. Опыт обследования и оптимизации работы водопроводных очистных сооружений //Вестник СибГИУ. 2015. №1(11). С.81 – 83.

3. Гохман Б.М., Ланге Л.Р. Обследование водопроводных очистных сооружений // Водоочистка, 2010. - №6. - С. 38 – 40.

УДК 628.3.034.2:622.3

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ШАХТНЫХ ВОД

Ворон Л.В., Ланге Л.Р.
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Одним из направлений решения проблем загрязнения водоемов шахтными водами, приводящих к их деградации, является создание и соблюдение требуемых режимов очистки на действующих сооружениях и максимальная интенсификация их работы. Это позволит значительно сократить сбросы загрязняющих веществ в водоемы с минимальными затратами на модернизацию сооружений.

Ключевые слова: шахтные воды, загрязняющие вещества, очистные сооружения, горизонтальные отстойники.

Кузбасс один из богатейших регионов России по запасам полезных ископаемых. Интенсивная добыча и переработка сырья на местных предприятиях привели к загрязнению поверхностных и подземных вод.

В крупнейшем промышленном центре области городе Новокузнецке по официальным данным ежегодно валовые сбросы в водоисточники составляют свыше 70 тыс. т, из которых 45,8% - от предприятий угольной и металлургической промышленностей.

В сложившихся условиях сложной экологической ситуации региона и страны в целом особую важность приобретает проблема охраны водных ресурсов от загрязнения неочищенными стоками угольной промышленности, предприятия которой характеризуются большим объемом сбрасываемых шахтных вод [1]. В связи с нарастающим дефицитом свежей воды и увеличением количества сбрасываемых промышленных сточных вод остро встает вопрос очистки и использования последних для технического водоснабжения.

Под шахтными водами принято понимать все воды, проникающие в выработанное пространство и проходящие через водоотливное хозяйство шахты. Притоки воды в шахты изменяются в широких пределах – от 100 до 4000 и более $м^3$/ч. Данные водопритоки возникают в периоды строительства, эксплуатации и закрытия шахты.

Химический состав загрязнений шахтных вод весьма сложен и разнообразен [2]. Он формируется под влиянием естественных процессов, происходящих в массиве горных пород, в горных выработках, водоносных горизонтах, когда шахтная вода вступает в контакт с углем и вмещающими породами. Концентрации ингредиентов, входящих в состав примесей шахтных вод, значительно превышает нормативные предельно допустимые показатели (ПДК) по сбросу в природные водоемы, особенно рыбохозяйственного назначения и, как правило, включают в свой состав:

- большое количество взвешенных нерастворенных веществ, концентрация которых колеблется в пределах 1-6 г/л, причем основную массу их (60-80% общего количества) составляют мелкодисперсные частицы диаметром менее 0,1мм;
- минерализованные загрязнения в пределах 480-870 мг/л. Сточные воды большинства угольных шахт региона имеют нейтральную среду (pH в пределах 6,5-8,5).
- жесткость шахтных вод обусловлена присутствием солей кальция и магния. Высокой общей жесткостью (свыше 7 мг-экв/л) характеризуются шахтные воды с повышен-

ной общей минерализацией. Наиболее характерные значения общей жесткости данных вод находятся в пределах от 5 до 30 мг-экв/л;

- соли тяжелых металлов таких как: медь, цинк, никель, молибден, хром, марганец, алюминий, стронций, кремний, железо и другие;
- органические загрязнения, находящиеся в растворенном и взвешенном состоянии;
- бактериальные загрязнения.

Угольная промышленность России была и остается одной из важнейших базовых отраслей народного хозяйства, а Кузбасс является основным угольным бассейном на долговременной перспективе, в котором сосредоточены запасы каменных углей всех марок, пригодных для использования в энергетических целях и для производства кокса. Кузбасс дает более 60% общего объема добычи угля и обеспечивает до 80% потребности внутреннего рынка в коксующихся углях.

Однако угледобывающие предприятия, наращивая объемы добычи угля, оказывают негативное воздействие на все основные компоненты окружающей среды. Разработка и внедрение экологически чистых, малоотходных и безотходных технологий и технологических процессов горного производства ведется медленными темпами или вообще не ведется. В отрасли сложилась тенденция экономии инвестиций на охрану окружающей среды, что приводит к ряду негативных последствий – чрезвычайно малые объемы строительства пылегазоочистных установок и эффективных очистных сооружений сточных вод, которые позволяли бы использовать в производственных процессах очищенные стоки и не сбрасывать в водные объекты очищенные стоки с превышением ПДК [3].

В последние годы в промышленности наметилась тенденция к снижению общего объема сброса загрязненных (с превышением нормативов) шахтных вод в поверхностные водные объекты, но в то же время доля сброса нормативно очищенных уменьшается. До сих пор достаточно большие объемы шахтных вод сбрасываются в водоемы без какой-либо очистки, что пагубно влияет на их состояние.

Со сточными водами угольных предприятий ежегодно поступает в водоемы большое количество взвешенных веществ, нефтепродуктов, фенолов, тяжелых металлов. Масса сбрасываемых загрязняющих веществ значительно превышает самоочищающую способность водоемов, что приводит к загрязнению водных объектов, существенно ограничивает или полностью исключает их народнохозяйственное использование. По данным природоохранных органов к началу 2013 года, в результате сброса недостаточно очищенных шахтных и карьерных вод, в Кузнецком бассейне выведены из водопользования свыше 200 малых рек [4].

Следует также отметить, что существующий уровень научного обеспечения экологизации угольной отрасли не отвечает современным требованиям. Целый ряд экологических проблем, с которыми сталкиваются предприятия в своей деятельности и которые требуют научной проработки, не нашли эффективных решений. Серьезные трудности у производственников и проектировщиков вызывают такие проблемы, как технология очистки шахтных и карьерных сточных вод сложного химического состава от комплекса загрязняющих веществ, в состав которых входят нефтепродукты, фенолы, растворенные минеральные соли, ионы тяжелых металлов, и др.

В настоящее время подавляющая часть имеющихся на угольных предприятиях очистных сооружений не обеспечивает очистки сточных вод до нормативных требований из-за несовершенства применяемых схем очистки, неграмотной эксплуатации сооружений без соблюдения каких- либо технологических регламентов специалистами даже несмежных профилей. Все эти явления приводят к неэффективной работе сооружений и не достижению возможных показателей очистки.

Большинство очистных сооружений, эксплуатируемых в настоящее время в нашем регионе, представлены грунтовыми горизонтальными отстойниками, устроенными в естественных или искусственных выемках, с фильтрующими дамбами или без них и обезза-

раживающими установками. Шахтные воды с их сложным минеральным составом невозможно довести по глубине очистки до ПДК загрязняющих веществ, при сбросе их в рыбохозяйственные водоемы, к категории которых относятся реки нашего регион, простыми механическими методами очистки отстаивания и фильтрации без применения технологий глубокой физико-химической очистки [5,6]. Кроме того, на многих отстойных сооружениях, эксплуатируемых длительный период, не соблюдаются гидравлические режимы сооружений такие как – скорость движения стоков в отстойной зоне, глубина и длина зоны отстаивания, высота слоя накапливаемого осадка, длина пути фильтрации осветленной шахтной воды (толщина фильтрующей дамбы), грязеемкость фильтрующего материала дамбы и его фракционный состав. Не соблюдение технологических регламентов процессов очистки значительно снижает эффекты задержания загрязняющих веществ, которые могли бы быть достигнуты на данных сооружениях.

Одним из направлений решения проблем очистки шахтных вод и предотвращения сброса загрязняющих веществ в водные объекты можно назвать – создание и соблюдение требуемых режимов очистки на действующих сооружениях и максимальная интенсификация их работы. Это позволит значительно сократить сбросы взвешенных веществ и нефтепродуктов в водоемы с минимальными затратами на модернизацию действующих сооружений.

В настоящее время достаточно часто случается, что отстойники в результате длительной эксплуатации заполнены выделенным при очистке стоков шламом выше расчетных отметок. В результате чего уменьшается глубина зоны отстаивания и, соответственно, увеличивается скорость движения стоков в отстойной зоне, а следовательно снижается эффект их осветления. Как правило, в эксплуатируемые горизонтальные отстойники шахтные воды подаются из шахты сосредоточено по одному или двум трубопроводам под остаточным напором. Поэтому в месте впуска стоков образуется пляж из шлама, что сокращает длину зоны отстаивания и время пребывания стоков в ней, и как следствие падает эффективность очистки. Кроме того, сосредоточенный ввод стоков не обеспечивает равномерное распределение их по всей ширине и глубине зоны отстаивания, что значительно снижает активную ее зону; происходит увеличение скорости потока в начале отстойной зоны и взмучивание выделенного ранее осадка, что так же значительно ухудшает эффективность работы всего комплекса сооружения. Существующие отстойные сооружения очень редко оборудованы устройствами для удаления выделенных нефтепродуктов, которые в виде пленки накапливаются в конце отстойной зоны и захватываются выводимыми из сооружения очищенными стоками, в результате чего происходит их вторичное загрязнение нефтепродуктами.

Фильтрующие дамбы, устраиваемые в составе очистных сооружений, которые должны задерживать мелкодисперсные примеси, не уловленные в отстойной зоне, не всегда выполнены расчетной ширины (длины фильтрации) и из материала, обладающего нужной грязеемкостью и определенным фракционным составом. Поэтому они не всегда обеспечивают должного эффекта задержания мелкодисперсных угольных частиц и нефтепродуктов, которые не могут быть выделены обычным отстаиванием.

Для решения обозначенных и устранимых проблем на существующих очистных сооружения шахтных вод с целью интенсификации их работы и повышения эффективности очистки с минимальными затратами необходимо:

- создать нормативную глубину (1,5-3,0м) зоны отстаивания. Для чего необходимо освободить секции отстойников от уловленного ранее шлама;
- оборудовать отстойники рассредоточенными подводными распределительными устройствами, позволяющими подавать стоки в зону отстаивания по всей ее ширине и глубине с одинаковыми скоростями в безнапорном режиме;
- для удаления выделенных в отстойниках нефтепродуктов предусмотреть установку в них нефтесборных устройств;

- для сохранения в зоне отстаивания устоявшегося ламинарного режима работы дооборудовать сооружения рассредоточенными водосбросными устройствами, обеспечивающими равномерный отвод средних наиболее чистых слоев очищенных стоков;
- постоянно следить и сохранять нормативную глубину и длину отстойной зоны;
- фильтрующие дамбы отсыпать нужной ширины и из материала соответствующей грязеемкости и фракционного состава, что создаст условия для достижения наилучших эффектов задержания мелкодисперсных взвешенных веществ и нефтепродуктов из очищаемых шахтных вод. Для чего необходимо просмотреть возможность использования фильтрующих материалов из горелых пород, подготавливаемых фирмой «Аргиллит» г. Киселевск, эффективность которых доказана на водопроводных сооружениях нашей области [6].

При выполнении предлагаемых мероприятий, возможно значительно повысить эффективность работы существующих сооружений по извлечению механических загрязнений и нефтепродуктов. Но решить все возникающие проблемы при очистке шахтных вод сложного химического состава по удалению ионов тяжелых металлов, фенолов и других сложных углеводородов без применения более глубоких методов физико-химической или электрохимической очистки проблематично [7]. Включение в существующую схему очистки шахтных вод дополнительных более глубоких методов вполне осуществимые мероприятия, но они могут повлечь изменения технологического регламента существующих сооружений механической очистки в увязке с дополнительными методами обработки стоков и дополнительных капитальных вложений. В тоже время, все затраты вложенные в модернизацию действующих сооружений будут оправданы качеством очищенного стока, который можно будет использовать на производственные нужды самой шахты и других предприятий. А главное они предотвратят сброс в водные объекты ненормативно очищенных сточных вод, тем самым защитят наши водоисточники от загрязнения, истощения, деградации и в целом улучшат экологическую ситуацию с водными ресурсами в нашем регионе и Сибирском федеральном округе.

Список литературы

1. Семененко А.А., Ворон Л.В. Очистка шахтных вод // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2009. – Вып. 13. - С. 108-113.

2. Дьяков Е.В., Ворон Л.В. Очистка шахтных вод // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2012. – Ч. III, Вып. 16. - С. 54-58.

3. Кривцова Е.Г., Ворон Л.В. Очистка шахтных вод // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2012. – Ч. III, Вып. 16. - С. 69-72.

4. Беркетова Е.А., Ворон Л.В. Очистка карьерных вод с территории угольного разреза // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2012. – Ч. III, Вып. 16. - С. 58-62.

5. Кривцова Е.Г., Ворон Л.В. Электрокоагуляция в очистке сточных вод.//Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2011. – Вып. 15. - С. 156-161.

6. Гохман Б.М. Ланге Л.Р. Обследование водопроводных очистных сооружений // Водоочистка, 2010. - №6. - С. 38-40

7. Сапрыкин И.С., Ворон Л.В. Электрохимические методы обработки производственных сточных вод // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2014г. – Ч.IV Вып. 18. - С.232-236.

УДК 504.05

ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМАХ УГЛЕДОБЫЧИ В КУЗБАССЕ

Дурнин М.К.
ООО «Торговый Дом «Красный Октябрь-Алтай»,
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Приведены результаты аналитического обзора негативных последствий открытого способа разработки угольных месторождений в Кузбассе. Анализ проведён по следующим показателям: выбросам токсичных элементов и пыли, накоплению вскрышных пород, изъятию земель, металлоёмкости, перспективам социально-экономического развития угледобывающего региона.

Ключевые слова: угольный разрез, породы вскрыши, выбросы и сбросы вредных веществ, здоровье людей

В Кузбассе средняя годовая добыча угля сохраняется на уровне 200 млн.т. Попутно с углём извлекается ежегодно 1664,6 т урана и тория, 112206 т токсичных элементов, 151660 т тяжёлых металлов, 499866 т прочих металлов при общем количестве 765396,6 т, то есть по 280 кг в год на среднесписочного жителя Кемеровской области [1, 2]. Кроме того выделяется 64000 т пыли, содержащей 244926,912 кг вредностей, то есть 0,32 т на тысячу тонн горной массы (рис. 1-2).

Рис.1. Точечный пылеобразователь - вскрышной забой разреза «Берёзовский Восточный»

Рис 2. Основной пылеобразователь - вид на отвал и внутреннюю технологическую дорогу разреза «Берёзовский Восточный»

В Кузнецком бассейне постепенно увеличиваются объёмы добычи угля открытым способом по сравнению с подземной угледобычей, что также приводит к увеличению выбросов и сбросов вредных веществ.

При сравнительно высокой экономической эффективности открытого способа добычи угля возрастает негативное воздействие на окружающую среду. Например, при подземном способе добычи угля по проекту «Вскрытие и подготовка уклонного поля» ЗАО «Распадская», разработанного институтом «Сибгипрошахт», отношение объёма пустых пород и угольной массы, выдаваемых из шахты, составляет 0,0584т/т, а на открытых работах коэффициент вскрыши изменяется в пределах Кузбассе 6-15 м³/т, то есть в 1200-1300 раз больше. При этом ежегодно в атмосферу Кемеровской области выделяется 448000 т пыли.

Другим фактором негативного влияния открытых горных разработок является изъятие земель. Результаты анализа площадей лицензионных участков, которых в 2014 г. оформлено 233 (рис. 3), подтверждают необратимость процессов превращения ценных пашен и лесных угодий в лунный ландшафт. Проблема состоит в том что, фактическая площадь нарушенных земель существенно превышает указанную в лицензии. Например, согласно лицензии КЕМ 15355 ТЭ, выданной разрезу «Кийзакский», площадь лицензионного участка 7,75 км^2 (775 га). Однако, по проекту с учётом внешних отвалов площадь достигает 41,765 км^2. Дополнительную площадь 34,006 км^2 владелец лицензии берёт в аренду. Арендодателем в данном случае является Департамент лесного комплекса Кемеровской области. В результате деятельности только этого разреза на длительное время (не мене 30 лет после окончания горных работ) непригодными к нормальному плодородию и воспроизводству лесных угодий являются около 40 км^2 земельных угодий.

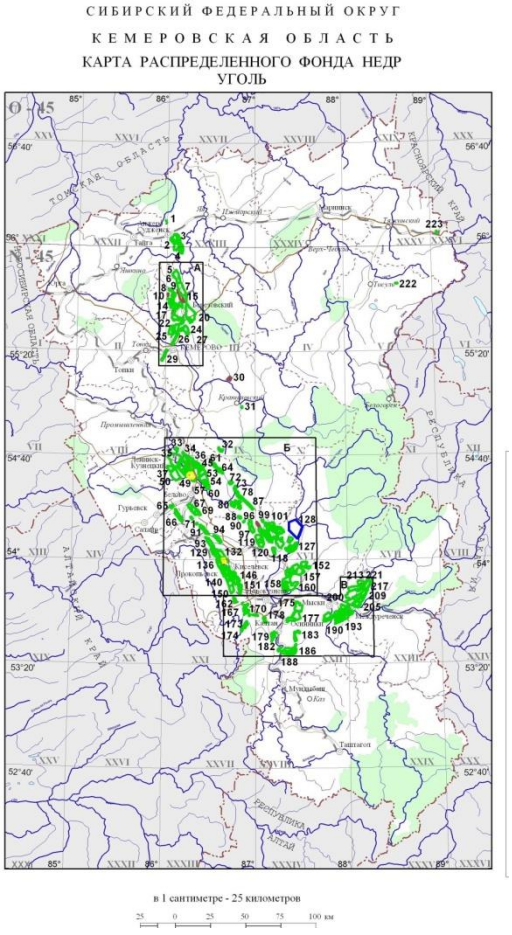


Рис.3. Карта распределённого фонда недр [4]

Для сравнения следует отметить, что площадь нарушенных земель при подземном способе добычи в десятки, если не в сотни раз меньше площади, чем территория открытых работ. Причём горный отвод шахты расположен под дневной поверхностью и все посадки, огороды и т.п. продолжают на нём функционировать. Нарушение поверхности подземными горными выработками выражается в подработке и оседании земной поверхности. При этом после окончания подземных работ восстанавливается водный баланса и сохраняются основные формы рельефа, земельные участки после окончания активной стадии процесса сдвижения пригодны для хозяйственного использования.

Проведена оценка продуктивности использования земельного отвода. Например горный отвод шахты Распадская в соответствие с проектом «Вскрытие и подготовка уклонного поля» ЗАО «Распадская», разработанного институтом «Сибгипрошахт», составляет около 35 квадратных километров. Проектная мощность шахты – 7,5 млн. т коксующегося угля марки ГЖ. Наивысший показатель годовой добычи был достигнут в 2006 году – 8,6 млн. т угля. Продуктивность подземной добычи угля 0,246 млн. т/год на один квадратный километр горного отвода. Средняя площадь горного отвода, занимаемая угольным разрезом с годовой производительностью 4,5 млн. т составляет примерно 32 км^2. В этом случае продуктивность открытой добычи угля 0,140 млн. т/год на один квадратный километр горного отвода, то есть по эффективности использования земель одна современная шахта заменяет почти два разреза [3].

Металлоёмкость угольной шахты 1166,3 т/млн.т добычи почти в три раза ниже соответствующего показателя угольного разреза, учитывая, что основное оборудование на разрезах импортное, с увеличением объёма добычи открытым способом сокращается база горного машиностроения.

При открытых горных работах осуществляется перемещение вскрышных пород и нарушение земель. В период 1998 по 2014 годы включительно нарушено 425,9 км^2 земель и перемещено 13169,12 млн. м^3 вскрышных пород, что привело не только к нарушению ландшафта, но и перераспределению гравитационных сил на углепородный массив. Возможно, это один из факторов повышения техногенной сейсмической активности в Кемеровской области и Алтае. Темпы ежегодного прироста нарушенных земель, по сравнению с 1990 годом, в 2014 увеличены в 6 раз.

При существенной экономической прибыли разрезов по сравнению с угольными шахтами предприятия с открытым способом добычи не полностью обеспечивают лицензионные требования по участию в социально-экономическом развитии региона, так как владельцы лицензий предпочитают не обучать местные трудовые ресурсы, а привозить вахтовым или иным методом уже готовые обученные кадры; импортировать практически все оборудование; всяческими законными и незаконными методами снижать риски возмещения потерь и убытков владельцев земельных участков, включая упущенную выгоду, как для физических, так и для юридических лиц.

Учет интересов национальной безопасности Российской Федерации при сложившемся течении дел становится проблематичным. Практически в каждой компании, по крайней мере, в крупных компаниях, членами советов директоров, а иногда и владельцами компаний являются иностранные граждане. Причем граждане стран, не всегда являющимися добросовестными партнерами России на мировой арене.

Выводы:

1. Существующие темпы роста добычи угля открытым способом приведут к дальнейшему интенсивному развитию экологической и социальной катастрофы в Кузбассе.

2. Необходимо постепенно сокращать долю добычи угля открытым способом, в том числе с переходом на доработку подземным способом запасов угольных пластов, предварительно вскрытых разрезами.

3. Необходимо предварительно извлекать из горной массы попутные полезные ископаемые, а органические отходы использовать как сырье для приготовления экологически чистых топлив.

5. Предлагается пересмотреть экономические отношения между Администрацией Кемеровской области и владельцами горных предприятий в сторону увеличения ренты за пользование землями на территории Кемеровской области.

6. Разработать конституциональные основы для стимулирования развития машиностроительной отрасли Кемеровской области с постепенной заменой на разрезах импортного оборудования отечественным.

Список литературы

1. Нифантов В.Ф. Угли Кузбасса химические элементы-примеси и технологии их извлечения при комплексном освоении месторождений / В.Ф. Нифантов, В.П. Потапов, Б.А. Анфёров, Л.В. Кузнецова. - Кемерово: РИО ИУ СО РАН, 2011. - 310 с.

2. Ковалёв В.А. Мониторинг состояния природной среды угледобывающих районов Кузбасса / В.А. Ковалёв, В.П. Потапов, Е.Л. Счастливцев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – 312 с.

3. Сысоев А. А. Инженерно-экономические расчеты для открытых горных работ: учеб, пособие / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2005. - 179 с.

4. Карты Кузбасса
http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/sfo/kemerovskaya_obl/47_rnfn_ugol.jpg

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА НЕДР 3

ЭКПЕРИМЕНТАЛЬНО-ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ УГЛЕДОБЫЧИ 5
д.т.н. Фрянов В.Н., д.т.н. Павлова Л.Д.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ 13
[1]д.т.н. Еременко А. А., [2]Башков В. И.
1 - Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия
2 - ОАО «Евразруда», г. Новокузнецк, Россия

ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ 21
чл.-корр. РАН, д.т.н. Клишин В. И., д.т.н. Герике Б. Л., к.т.н. Герике П. Б.
Институт угля СО РАН, г. Кемерово, Россия

ПОСТРОЕНИЕ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ 27
[1]д.т.н. Герике Б. Л., [1]чл.-корр. РАН, д.т.н. Клишин В. И., [2]д.т.н. Хорешок А. А.
1 - Институт угля СО РАН, г. Кемерово, Россия
2 – Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия

МОНИТОРИНГ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МАРКО «ЦИФРОВАЯ ШАХТА» 33
М. Ройтер, докт. М. Крах, К. Майрхофер, У. Кислинг, д.т.н. Ю. Векслер
Компания Марко, Системный анализ и разработки ГМБХ, г. Дахау, Германия

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ СИТЕМ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ 39
[1]к.т.н. Вартанов А.З., [2]д.э.н. Петров И.В., [1]д.т.н. Федаш А.В.
1 - Институт проблем комплексного освоения недр РАН, г. Москва, Россия
2 - Центральный научно-исследовательский институт экономики и научно-технической информации угольной промышленности, г. Москва, Россия

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ ПЕРЕХОДА ОТ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ К ПОДЗЕМНЫМ ПРИ ОТРАБОТКЕ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ УЧАСТКА «РАЗРЕЗ РАСПАДСКИЙ» 44
[1]д.т.н. Ордин А.А., [2]Васильев И.В.
1 – Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия
2 - ОАО «Сибгипрошахт», г. Новосибирск, Россия

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ДЛЯ ОЦЕНКИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОТРАБОТКЕ СЛЕПЫХ РУДНЫХ ТЕЛ ШЕРЕГЕШЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ 51
[1]д.т.н. Лобанова Т.В., [2] д.т.н. Серяков В.М.
1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
2 – Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия

ОЧИСТКА ШАХТНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОНКОСЛОЙНЫХ ОСВЕТЛИТЕЛЕЙ 60
[1]Саранчук Э.В., [1]д.т.н. Сенкус В.В., [2]д.т.н. Стефанюк Б.М.
1 - ООО «Сибнииуглеобогащения», г. Прокопьевск, Россия

2- Кемеровский государственный университет, г. Новокузнецк, Россия
ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОТРАБОТКИ МОЩНОГО ПОЛОГОГО ПЛАСТА ПО ЭНДОГЕННОЙ ПОЖАРООПАСНОСТИ 62
к.т.н. Ермаков А.Ю.
ООО «Сибниуглеобогащения», г. Прокопьевск, Россия
ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ЛОКАЛЬНЫХ УЧАСТКОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ..... 71
Ермаков Е.А.
ООО «Сибниуглеобогащения», г. Прокопьевск, Россия
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН НА СКОРОСТЬ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ВЫЕМОЧНЫХ СТОЛБОВ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМИ ОЧИСТНЫМИ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ..... 73
Ванякин О.В.
ООО «Сибниуглеобогащение», г. Прокопьевск, Россия
ОБОСНОВАНИЕ ПОРЯДКА ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО ЩЕБНЯ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ 76
Барадулин И.М., д.т.н. Зеньков И.В.
Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука», Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия
РЕМОНТ СФОРМИРОВАННЫХ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ..... 82
д.т.н. Зеньков И.В.
Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука», Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия
АНАЛИЗ ТЕРМОЗАЩИТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН В РАЙОНАХ С МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫМИ ПОРОДАМИ..... 84
[1]Павлова П.Л., [2]д.т.н. Зеньков И.В.
1 - Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия
2 - Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука», Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия
АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОЙ ШИРИНЫ ЛЕНТОЧНЫХ ЦЕЛИКОВ ПРИ ПОЛОГОМ ЗАЛЕГАНИИ ПЛАСТОВ 88
[1]д.т.н. Ермакова И.А., [2]Пириева Н.Н.
1 - Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия
2 - ОАО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий, Россия
КРИТЕРИИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СРАВНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВНУТРЕННЕГО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА РАЗРЕЗАХ К ЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ..... 91
к.т.н. Селюков А.В.
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ОЧЕРЕДНОСТИ ОТРАБОТКИ КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ДОЛЕВОГО УЧАСТИЯ ВНУТРИКАРЬЕРНОГО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ 98
к.т.н. Селюков А.В.
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия

ТРЕБОВАНИЯ К ПОДСИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ 105
д.т.н. Шадрин А.В., Бирева Ю.А.
Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия
ВЕЛИЧИНЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАССОВОГО ВЗРЫВА НА ТАШТАГОЛЬСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ..... 110
к.т.н. Машуков И.В., Серг А.Г., Егоров Д.А., Семин А.А.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ПЕРЕРАБОТКА ЖЕЛЕЗНЫХ РУД И УГЛЕЙ КУЗБАССА 118
Ходосов И.Е., д.т.н. Нохрина О.И.
Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия
АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМА МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ К СИСТЕМЕ СИМВОЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ..... 121
к.т.н. Цветков А.Б., д.т.н. Павлова
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТРЁХМЕРНЫХ ЗАДАЧ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ..... 126
к.т.н. Корнев Е.С., д.т.н. Павлова Л.Д.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПУЧЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ОКРЕСТНОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ОТРАБОТКЕ ВЕСЬМА СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ..... 129
[1]к.т.н. Волошин В.А., [1]Риб С.В., [2]Исаченко А.А.
1 - Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
2 - Шахта «Ерунаковская - VIII», г. Новокузнецк, Россия
НЕСТАНДАРТНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ МАЛОБЮДЖЕТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАБРЫЗГБЕТОНИРОВАНИЯ ПРИ КРЕПЛЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК..... 133
[1]к.т.н. Волченко Г.Н., [2]д.т.н. Фрянов В.Н., [3]к.т.н. Приб В.В., [2]к.т.н. Волченко Н.Г.
1 - Сибирская инжиниринговая компания ООО «СИБКОМ», г. Новокузнецк, Россия
2 - Сибирский государственный индустриальный университет г. Новокузнецк, Россия
3 - Горно-Шорский филиал ОАО «Евразруда» п. Шерегеш, Россия
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ 138
д.т.н. Полевщиков Г.Я., к.т.н. Козырева Е.Н., Непеина Е.С., Рябцев А.А., Родин Р.И., Цуран Е.М.
Институт угля СО РАН, г. Кемерово, Россия
ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОГЕННОГО РАЗВИТИЯ ИЕРАРХИИ ГЕОСТРУКТУР В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД 143
к.т.н. Козырева Е. Н., к.т.н. Шинкевич М. В., Леонтьева Е. В.
Институт угля СО РАН, г. Кемерово, Россия
ОПЫТ ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫРАБОТОК ДВУХУРОВНЕВОЙ АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ НА ГРАНИЦЕ С ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ КРУТОНАКЛОННОГО ПЛАСТА 148
Райко Г.В., Самок А.В.
ООО «РАНК 2», г. Кемерово, Россия
ЗАМЕНА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ..... 152
к.т.н. Панова В.Ф., к.т.н. Панов С.А.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ 157
к.г.-м.н. Фролов В.Н.
ООО «СПб-Гипрошахт», г. Санкт-Петербург, Россия

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ..... 159

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КУЗБАССА 161
д.т.н. Федорин В.А., к.т.н. Шахматов В.Я., Борисов И.Л.
Институт угля СО РАН, г. Кемерово, Россия
РАЗМЕЩЕНИЕ ГЛАВНЫХ ВСКРЫВАЮЩИХ ВЫРАБОТОК ШАХТЫ «УВАЛЬНАЯ» ТЕРСИНСКОГО ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЙОНА КУЗБАССА С УЧЕТОМ МИНИМИЗАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК..... 165
Татаринова О.А.
Институт угля СО РАН, г. Кемерово, Россия
НОВЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ..... 169
д.т.н. Зеньков И.В.
Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука», Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия
ФОРМИРОВАНИЕ ЗАТРАТ НА ПРОСТОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ 172
к.т.н. Нифонтов А.И., д.э.н. Кушнеров Ю.П., к.э.н. Черникова О.П.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ОПТИМИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ АО «РАСПАДСКАЯ УГОЛЬНАЯ КОМПАНИЯ» ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ АКТИВИЗАЦИИ РАЦИОНАЛИЗАТОРСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПЕРСОНАЛА КОМПАНИИ 176
[1]к.э.н. Казанцева Г.Г., [2]Заречнева И.М.
1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
2 - АО «Распадская угольная компания», г. Междуреченск, Россия
ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ ЧИСЛЕННОСТИ ПЕРСОНАЛА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 179
к.т.н. Огнев С.П., к.э.н. Шепелева Н.А.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
АЛГОРИТМ И СТРУКТУРА КОНТЕНТА ОБУЧАЮЩЕ-ТЕСТИРУЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ БАЗОВЫХ ДИСЦИПЛИН СПЕЦИАЛЬНОСТИ 130400 «ГОРНОЕ ДЕЛО» 184
д.т.н. Домрачев А.Н.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
РОЛЬ ИННОВАЦИЙ В ТРАНСФОРМАЦИИ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНА 187
к.т.н. Дубовик Ю.В.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЕЙ КАК СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ..... 190
Корабель Л.Я.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В СИСТЕМЕ ПЛАТЫ ЗА НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НА ПОВЫШЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОСТИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ 193
к.т.н Златицкая Ю.А.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА..... 195
[1]к.т.н. Приступа Ю.Д., [1]Шишкина С.В., [2]д.т.н. Фрянов В.Н., [2]д.т.н. Павлова Л.Д.
1 - ПТУ «Восточный Кузбасс» ОАО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий, Россия
2 - Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА 201

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ 203
[1]к.э.н. Ивушкин К.А., [2]к.т.н. Грачев В.В., [2]д.т.н. Мышляев Л.П., [2]Циряпкина А.В., [2]Киселев С.Ф.
1 - ОК «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия
2 - ООО «Научно-исследовательский центр систем управления» г. Новокузнецк, Россия
ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ИСПЫТАНИЯ И НАСТРОЙКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ УСТАНОВКИ СЖИГАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА) 211
[1]д.т.н Мышляев Л.П., [2]д.т.н. Ивушкин А.А., [1]д.т.н. Евтушенко В.Ф., [3]д.т.н Бурков В.Н., [1]Макаров Г.В., [1]Буркова Е.В.
1 − Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
2 – ООО Объединенная компания «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия
3 – Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, Россия
К ПРОБЛЕМЕ СОВМЕСТНОГО СИНТЕЗА ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПОДСИСТЕМЫ 218
[1]к.т.н. Ляховец М.В., [1]д.т.н. Мышляев Л. П., [2]к.т.н. Венгер К. Г., [2]Леонтьев И. А.
1 - Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
2 - ЗАО «Стройсервис», г. Кемерово, Россия
К РАЗВИТИЮ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ 220
д.т.н. Кулаков С.М., Пургина М.В.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ТЕХНОЦЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОАО «РАСПАДСКОЕ» 224
к.т.н. Тимофеев А.С., Зарипов Ш.С.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА 228
[1]д.т.н. Пугачев Е.В., [1]к.т.н. Иванов А.С., [2]Нусратов П.Р., [3]Иванов В.С.
1 - Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
2 – Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан
3 - ООО «ИНДАС ХОЛДИНГ», г. Новокузнецк, Россия
АЛГОРИТМ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ «ТУРБИНА – ГИДРОГЕНЕРАТОР» 231

д.т.н. Пугачев Е.В., к.т.н. Кипервассер М.В., Гуламов Ш.Р.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО ВСТРОЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 235
к.т.н. Пугачёва Э. Е., Артемьев С. В.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
АППАРАТУРА ШАХТНОЙ СТВОЛОВОЙ СИГНАЛИЗИЦИИ И СВЯЗИ 239
к.т.н. Пугачёва Э.Е., Каланчин И.Ю.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
АЛГОРИТМ СОПРОВОЖДЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ГЕРМЕТИЧНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ..... 243
Бич Т.А.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ, КПД И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ 246
д.т.н. Островлянчик В. Ю., Поползин И. Ю.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ СО ШКИВОМ ТРЕНИЯ ОТ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ КАНАТОВ..... 254
[1]к.т.н. Савельев А.Н., [1]к.т.н. Кипервассер М.В., [2]Аниканов Д.С.
1 - Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
2 - ООО «Пуско-наладочное управление ОК «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия
АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ГОРНО-ШАХТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ..... 257
к.т.н. Кузнецова Е.С., Инжелевская О.В., Топильская Е.Н.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕПЛОВИЗИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ 260
[1]Топильская Е.Н., [1]Инжелевская О.В., [2]Топильский Н.М.
1 - Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
2 - ООО «Сибирь-Эксперт», г. Новокузнецк, Россия
ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ГОРНО-ШАХТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ 264
к.т.н. Кузнецова Е.С., к.пед.н. Балицкая Н.В., Топильская Е.Н.
Сибирский Государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТВАЛЬНЫХ РАБОТ В ОПАСНЫХ ЗОНАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ НА ДИСТАНЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ 268
Щепелина Н.В., Пилюгин Д.Ю.
ООО «СПб-Гипрошахт», г. Санкт-Петербург, Россия

ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ 271

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЕГО ПРОМЫШЛЕННОГО И КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ..... 273
[1]к.х.н Журавлева Н.В., [1]Потокина Р.Р., [2]член-корр. РАН, д.х.н. Исмагилов З.Р.
1 - ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр», г. Новокузнецк, Россия
2 – Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, г. Кемерово, Россия
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ТОНКОДИСПЕРСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПОРОШКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЛАЗЕРНОЙ ДИФРАКЦИИ 278

[1]к.х.н Журавлева Н.В., [1]Потокина Р.Р., [2]член-корр. РАН, д.х.н. Исмагилов З.Р.
1 - ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр», г. Новокузнецк, Россия
2 – Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, г. Кемерово, Россия
ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОНОСНОСТИ УГЛЕЙ ПРЯМЫМ И ОБЪЕМНЫМ МЕТОДАМИ.....283
[1]Потокина Р.Р., [1]к.х.н Журавлева Н.В., [2]член-корр. РАН, д.х.н. Исмагилов З.Р.
1 - ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр», г. Новокузнецк, Россия
2 - Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, г. Кемерово, Россия
АНАЛИЗ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ШАХТАХ КУЗБАССА.....288
к.т.н. Абрамов И. Л.
Институт угля СО РАН, Кемерово, Россия
ПРОВЕДЕНИЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОГО ЭТАПА РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ С МИНИМАЛЬНОЙ ЭМИССИЕЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ 291
д.т.н. Зеньков И.В.
Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука», Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ ЩЕБЕНОЧНЫХ КАРЬЕРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ.....294
Барадулин И.М., д.т.н. Зеньков И.В.
Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука», Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ РАЗРУШЕНИИ РЕЛЬЕФА УГЛЕПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ.....298
к.т.н. Нефедов Б.Н., д.т.н. Зеньков И.В.
Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука», Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОБСЛЕДОВАНИИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ НА УГОЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ «ПЕРЕЯСЛОВСКИЙ».....302
[1]Школьный И.А., [1]к.т.н. Юронен Ю.П. ,[2]к.т.н. Нефедов Б.Н., [2]д.т.н. Зеньков И.В.
1 - Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнёва», г. Красноярск, Россия
2 - Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука», Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТВАЛОВ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД НА УГОЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ «БОРОДИНСКИЙ».....307
[1]д.т.н. Щадов И.М., [2]к.т.н. Нефедов Б.Н., [2]д.т.н. Зеньков И.В.
1 - Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск, Россия
2 - Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука», Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАП РЕКУЛЬТИВАЦИИ – ШАГ ВПЕРЕД ИЛИ НАЗАД.....310
[1]д.т.н. Щадов И.М., [2]к.т.н. Нефедов Б.Н., [2]д.т.н. Зеньков И.В.
1 - Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск, Россия
2 - Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука», Красноярский научный центр СО РАН, г. Красноярск, Россия
ОБ ИЗМЕНЕНИИ БАЗОВЫХ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В УСЛОВИЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕНСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ 313
к.т.н. Лазаревич Т.И., к.т.н. Поляков А.Н.
Кемеровское представительство ОАО «ВНИМИ», г. Кемерово, Россия
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ГОРНОГО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА GITS (ВНИМИ) НА ШАХТЕ «ПОЛЫСАЕВСКАЯ».....321

Панин С.Ф.
Кемеровское Представительство ВНИМИ, г. Кемерово, Россия
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ КОНСЕРВАЦИИ (ЛИКВИДАЦИИ) УГОЛЬНЫХ ШАХТ 327
Зимин И.И.
Кемеровское Представительство ОАО «ВНИМИ» г. Кемерово, Россия
КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ БЕЗОПАСНОЙ ДОБЫЧИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНЫХ ПОДХОДОВ К ПОДГОТОВКЕ ПРЕДПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ..... 330
Харкевич А.С., Власенко Ю.Н., Довыденко Н.И.
Кемеровское представительство ОАО «ВНИМИ» г. Кемерово, Россия
ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПРОЯВЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ 333
д.т.н. Зыков В.С.
ОАО «Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – Межотраслевой научный центр ВНИМИ», Кемеровское представительство, г. Кемерово, Россия
РАЗРАБОТКА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ..... 342
Казимиров С.А., к.т.н. Багрянцев В.И., Бровченко С.А., д.т.н. Темлянцев М.В.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА УГЛЯ..... 345
д.т.н. Школлер М.Б.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, НАРУШЕННЫХ ТЕХНОГЕНЕЗОМ, НА ТЕРРИТОРИИ КУЗБАССА..... 353
к.б.н. Семина И.С., к.с.-х.н. Шипилова А.М.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ВОЗМОЖНОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КУЗБАССА ПОДВИЖНЫХ ФОРМ МЕТАНА..... 356
[1]Грицюк Я.М., [2]Плетенчук Н.С.
1 - ООО «Аэрокосмическая партия», г. Новокузнецк, Россия
2 - Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ И ТРЕБОВАНИЙ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ..... 362
Варламова Л.Н., Кузнецов Н.Н., Гладких Р.И.
ООО «НИИЦ КузНИУИ», г. Прокопьевск, Россия
СВЯЗЬ МЕЖДУ ВЫХОДОМ ЛЕТУЧИХ, ВЛАЖНОСТЬЮ И ГЛУБИНОЙ ЗАЛЕГАНИЯ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА 365
к.г.-м.н. Гумиров Ш.В., Елизарова Ю.А.
Сибирский государственный индустриальный университет г. Новокузнецк, Россия
ВЛИЯНИЕ МАТРИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УГЛЯ НА НАКОПЛЕНИЕ ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ..... 367
к.г.-м.н. Гумиров Ш.В.
Сибирский государственный индустриальный университет г. Новокузнецк, Россия
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ВОДООТЛИВА..... 370
[1]Саранчук Э.В., [2]к.т.н. Сенкус Вал.В., [3]д.т.н.Стефанюк Б.М., [1]д.т.н. Сенкус В.В.
1 –ООО «Сибниуглеобогащения», г. Прокопьевск, Россия
2 - ООО «Проектгидроуголь», г. Новокузнецк, Россия

3 – Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк, Россия
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ВОДООТЛИВА УГОЛЬНЫХ ШАХТ.....373
[1]д.т.н.. Сенкус В.В., [1]к.т.н. Ермаков А.Ю., [1]Саранчук Э.В., [2]к.т.н. Сенкус Вал.В., [3]д.т.н. Стефанюк Б.М.
1 - ООО «Сибниуглеобогащения», г. Прокопьевск, Россия
2 - ООО «Проектгидроуголь», г. Новокузнецк, Россия
3 – Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк, Россия
РЕКОНСТРУКЦИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ШАХТЫ «КЫРГАЙСКАЯ» 379
Ворон Л.В., Ланге Л.Р.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРЕЛЫХ ПОР В КАЧЕСТВЕ ФИЛЬТРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД.....384
Ланге Л.Р., Ворон Л.В.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ШАХТНЫХ ВОД.....387
Ворон Л.В., Ланге Л.Р.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМАХ УГЛЕДОБЫЧИ В КУЗБАССЕ.....391
Дурнин М.К.
ООО «Торговый Дом «Красный Октябрь-Алтай», г. Новокузнецк, Россия

Научное издание

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Под общей редакцией профессора В.Н. Фрянова

Компьютерная верстка Л.Д. Павловой

Подписано в печать 25.05.2015г. Формат бумаги 60х84 1/16. Бумага писчая.
Печать офсетная. Усл.печ.л. 25,85 Уч.-изд. л. 25,97 Тираж 1000 экз. Заказ 309

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42. Издательский центр СибГИУ