

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Сибирский государственный индустриальный университет»

ВК «Кузбасская ярмарка»

**НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 10 - 2024

Главный редактор
д.т.н., проф. Фрянов В.Н.

Редакционная коллегия:
чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Клишин В.И., д.т.н., проф. Никитенко С.М.,
д.т.н. Павлова Л.Д. (технический редактор), д.т.н., проф. Домрачев А.Н.,
д.э.н., проф. Петрова Т.В.

Н 340 Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов : науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2024. - № 9. – 350 с.

Рассмотрены аспекты развития инновационных наукоёмких технологий диверсификации угольного производства и обобщены результаты научных исследований, в том числе создание роботизированных и автоматизированных угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий, базирующиеся на использовании прорывных технологий добычи угля и метана, комплексной переработке этих продуктов в угледобывающих регионах и реализации энергетической продукции потребителям в виде тепловой и электрической энергии.

Журнал предназначен для научных и научно-технических работников, специалистов угольной промышленности, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

Номер подготовлен на основе материалов Международной научно-практической конференции «Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов», проводимой в рамках специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» (Новокузнецк, 4-7 июня 2024 г.).

Основан в 2015 г.
Выходит 1 раз в год

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

УДК 622.2
ББК 33.1

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР	11
ПРИРОСТ КАПТИРУЕМОГО МЕТАНА ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА МЕТОДОМ ПОИНТЕРВАЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА	13
чл.-корр. РАН Клишин В.И., к.т.н. Опрук Г.Ю., Связев С.И.....	13
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия.....	13
СТРАТЕГИЯ ДОЛГОСРОЧНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ КУЗБАССА	19
¹ чл.-корр. РАН Клишин В.И., ² д.т.н. Рогова Т.Б., ¹ д.т.н. Шаклеин С.В., ^{1,2} д.т.н. Писаренко М. В.....	19
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия.....	19
2 – Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия.....	19
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА	26
чл.-корр. РАН Клишин В.И., д.т.н. Федорин В.А., Татаринова О.А.....	26
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия.....	26
ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КРОВЛИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ДЕМОНТАЖЕ ОБОРУДОВАНИЯ В ЛАВАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ШАХТНЫХ СЕТОК «ГЕОШАХТ»	31
¹ Новиков Р.П., ¹ Чуков А.С., ¹ Филиппов М.С., ² д.т.н. Земсков А.Н.....	31
1 – ГК «Миаком», г. Санкт-Петербург, Россия.....	31
2 – АО «Гипроцветмет», г. Пермь, Россия.....	31
ОТКРЫТЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЯ В ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРОВИНЦИЯХ ТУРЦИИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА	34
¹ д.т.н. Зеньков И.В., ² к.т.н. Черепанов Е.В., ³ Мулюшкина А.А., ⁴ к.т.н. Нефедов Б.Н.....	34
1 – ООО «Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела», г. Красноярск, Россия.....	34
2 – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия.....	34
3 – Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия.....	34
4 – Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск, Россия.....	34
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЯ В ШТАТЕ НОВЫЙ ЮЖНЫЙ УЭЛЬС НА ТЕРРИТОРИИ АВСТРАЛИИ	38
¹ д.т.н. Зеньков И.В., ² к.т.н. Черепанов Е.В., ³ Мулюшкина А.А., ⁴ к.т.н. Нефедов Б.Н.....	38
1 – ООО «Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела», г. Красноярск, Россия.....	38
2 – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия.....	38
3 – Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия.....	38
4 – Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск, Россия.....	38
ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ В УГОЛЬНЫХ КАРЬЕРАХ НА ТЕРРИТОРИИ ШТАТА КВИНСЛЕНД В АВСТРАЛИИ	42
¹ д.т.н. Зеньков И.В., ² к.т.н. Черепанов Е.В., ³ Мулюшкина А.А., ⁴ к.т.н. Нефедов Б.Н.....	42
1 – ООО «Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела», г. Красноярск, Россия.....	42
2 – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия.....	42
3 – Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия.....	42
4 – Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск, Россия.....	42
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ В УГОЛЬНЫХ КАРЬЕРАХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ МОНГОЛИЯ	45
¹ д.т.н. Зеньков И.В., ² к.т.н. Черепанов Е.В., ³ Мулюшкина А.А., ⁴ к.т.н. Нефедов Б.Н.....	45

1 – ООО «Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела», г. Красноярск, Россия	45
2 – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия	45
3 – Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия	45
4 – Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск, Россия	45
ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ДОБЫЧЕ УГЛЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ ГИДРАВЛИКО- МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ ЩИТОВЫМИ КОМПЛЕКСАМИ НА МОЩНЫХ КРУТЫХ ПЛАСТАХ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ	49
к.э.н., Новоселов С.В.	49
Академия горных наук, г. Москва, Россия	49
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОТРАБОТКИ УГЛЕНАСЫЩЕННОЙ ЗОНЫ ПОЛОГОПАДАЮЩИХ ПЛАСТОВ ОБРАТНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЛОПАТОЙ	51
Нечаев А.И.	51
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия	51
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТУПА ПРИ РАБОТЕ ОБРАТНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЛОПАТ ДЛЯ УСЛОВИЙ УГЛУБОЧНО-СПЛОШНОЙ СИСТЕМЫ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ	56
Терентьев Д. Д.	56
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия	56
ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ОТРАБОТКЕ ЗАПАСОВ КРУТОНАКЛОННОЙ ЧАСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА	62
¹ к.т.н. Риб С.В., ¹ к.т.н. Волошин В.А., ¹ к.т.н. Петрова О.А., ¹ д.т.н. Домрачев А.Н., ² Полошков С.И., ² к.т.н. Басов В.В.	62
1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	62
2 – АО «Шахта «Большевик», г. Новокузнецк, Россия	62
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДОСТАВКИ И МОНТАЖА ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ПОМОЩИ САМОХОДНЫХ МАШИН	69
¹ Дадынский Р.А., ² к.т.н. Никитина А.М., ² к.т.н. Риб С.В.	69
1 – ООО «УМГШО», г. Новокузнецк, Россия,	69
2 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	69
ЭФФЕКТИВНОСТЬ БУРЕНИЯ НАПРАВЛЕННЫХ СКВАЖИН ИЗ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ШАХТАХ КУЗБАССА	75
¹ к.т.н. Волошин В.А., ¹ к.т.н. Риб С.В., ² Рахимкулов И.Р., ² Гончаров Р.С., ³ к.т.н. Розонов Е.Ю., ⁴ Бабичук А.В.	75
1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	75
2 – ООО «ДМТехнологии», г. Новокузнецк, Россия	75
3 – ООО «ММК-Уголь», г. Белово, Россия	75
4 – ООО «ММК-Уголь» «Шахта «Костромовская», г. Ленинск-Кузнецкий, Россия	75
РАСЧЁТ МИНИМАЛЬНОЙ ШИРИНЫ УГОЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ КРУТОНАКЛОННОЙ ЧАСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА	80
¹ к.т.н. Риб С.В., ¹ к.т.н. Волошин В.А., ¹ к.т.н. Петрова О.А., ¹ д.т.н. Домрачев А.Н., ² Полошков С.И., ² к.т.н. Басов В.В.	80
1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	80
2 – АО «Шахта «Большевик», г. Новокузнецк, Россия	80
РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕХОДА РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ ДЛЯ ОБУЧАЮЩЕ-ТЕСТИРУЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ «ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ»	83
д.т.н. Домрачев А.Н., к.т.н. Коряга М.Г.	83
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	83

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ	89
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕДИНОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	91
¹ к.т.н. Герике П.Б., ¹ д.т.н. Герике Б.Л., ² д.т.н. Никитин А.Г.	91
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	91
2 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	91
ОЦЕНКА РЕСУРСА РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ РЕДУКТОРОВ ГОРНЫХ МАШИН.....	97
^{1,2} д.т.н. Герике Б.Л., ³ к.т.н. Кузин Е.Г., ¹ к.т.н. Герике П.Б.	97
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	97
2 – Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия	97
3 – Прокопьевский филиал КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева», г. Прокопьевск, Россия	97
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЕЙ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ НАСЫПНЫХ МАТЕРИАЛОВ	105
к.т.н. Ланцевич М. А., к.т.н. Левенсон С.Я., Морозов А.В.	105
Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия	105
НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ДВУХПРИВОДНОГО ТРАНСПОРТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С КРИВОЛИНЕЙНЫМ УПРУГИМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ	109
^{1,2} к.т.н. Куликова Е.Г.	109
1 – Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия	109
2 – Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия	109
РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ СМЕННОГО ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО КОВШОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ	117
Городилов Л.В., Коровин А.Н.	117
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия	117
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЕМА ВЫПУСКАЕМОЙ ГОРНОЙ МАССЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ И ПРОЕЦИРОВАНИЯ СЕТКИ ЛАЗЕРНЫХ ЛИНИЙ	120
^{1,2} Черкасов П.В., ^{1,2} к.т.н. Никитенко М.С., ^{1,2} Кизилев С.А.	120
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	120
2 – Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия	120
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТЕНДА АНАЛИЗА ГОРНОЙ МАССЫ ГАММА-МЕТОДОМ	126
Баловнев Е.А., Кизилев С.А., к.т.н. Никитенко М.С.	126
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	126
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПАРКА ГОРНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН В КАРЬЕРАХ ПО ДОБЫЧЕ НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ	132
¹ д.т.н. Зеньков И.В., ² к.т.н. Черепанов Е.В., ³ Терехина К.Ф., ⁴ к.т.н. Нефедов Б.Н.	132
1 – ООО «Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела», г. Красноярск, Россия	132
2 – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия	132
3 – Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия	132
4 – Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск, Россия	132
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАРЬЕРНЫХ МАШИН В ПО ДОБЫЧЕ ЦЕМЕНТНОГО СЫРЬЯ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ	137
¹ д.т.н. Зеньков И.В., ² к.т.н. Черепанов Е.В., ³ Терехина К.Ф., ⁴ к.т.н. Нефедов Б.Н.	137
1 – ООО «Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела», г. Красноярск, Россия	137
2 – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия	137

3 – Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия.....	137
4 – Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск, Россия	137
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ГОРНОТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОМ УГОЛЬНОМ КАРЬЕРЕ В СОСТАВЕ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ АВСТРАЛИИ	143
¹ д.т.н. Зеньков И.В., ² к.т.н. Черепанов Е.В., ³ Мулюшкина А.А., ⁴ к.т.н. Нефедов Б.Н.	143
1 – ООО «Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела», г. Красноярск, Россия.....	143
2 – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия	143
3 – Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия.....	143
4 – Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск, Россия	143
К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕХЛОПАТ	146
к. т. н. Чаплыгин В. В., к. т. н. Садыков А. А., Матвеев А. В.	146
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия	146
РОБОТИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	155
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД.....	157
д.т.н. Фрянов В.Н., д.т.н. Павлова Л.Д.	157
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	157
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК	164
^{1,2} к.т.н. Грачев В.В., ³ д.т.н. Ивушкин А.А., ¹ д.т.н. Мышляев Л.П., ^{1,2} к.т.н. Макаров Г.В.	164
1 – ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия	164
2 – Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия.....	164
3 – ООО «Объединенная компания «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия.....	164
ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	170
¹ д.т.н. Мышляев Л.П., ² д.т.н. Ивушкин А.А., ^{1,3} к.т.н. Грачев В.В., ^{1,3} к.т.н. Макаров Г.В., ⁴ Коршунов С.Ю.	170
1 – ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия	170
2 – ООО «Объединенная компания «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия.....	170
3 – Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия.....	170
4 – ООО «РТ-Инжиниринг», г. Москва, Россия	170
СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ РУБЦОВСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКОЙ	174
¹ д.т.н. Ивушкин А.А., ^{2,3} к.т.н. Макаров Г.В., ^{2,3} к.т.н. Грачев В.В., ³ д.т.н. Мышляев Л.П., ^{2,3} Свинцов М.М., ^{2,3} Загидулин И.Р., ^{2,3} Курышев Е.В.....	174
1 – ООО «Объединенная компания «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия.....	174
2 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	174
3 – ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия	174
ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ MASTERSCADА 4D ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОИЗВОДСТВА ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ ПОЛИМЕТАЛЛОВ	179
^{1,2} Курышев Е.В., ^{1,2} к.т.н. Грачев В.В., ^{1,2} Кулюшин Г.А., ^{1,2} к.т.н. Макаров Г.В., ² д.т.н. Мышляев Л.П., ^{1,2} Халимов В.А.....	179
1 - Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия	179
2 - ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия.....	179
К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ СУШИЛЬНО-ТОПОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ	183
Коровин Д.Е.	183
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	183

АВТОНОМНАЯ И ДИСТАНЦИОННО-УПРАВЛЯЕМАЯ ТЕХНИКА НА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ.....	188
¹ д.э.н. Никитенко С.М., ¹ к.т.н. Никитенко М.С., ¹ Худоногов Д.Ю., ¹ Кизилев С.А., ² PhD Вайс И.	188
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	188
2 – EEP Elektro-Elektronik Pranjic GmbH, Гельзенкирхен, Германия	188
СПОСОБ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ С ИХ ФИЗИЧЕСКИМИ МАКЕТАМИ	193
¹ Кизилев С.А., ¹ к.т.н. Никитенко М.С., ¹ Худоногов Д.Ю., ² Neogi B., ¹ Верховцев Д.О.....	193
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	193
2 – Инженерный колледж JIS, Кальяни, Западная Бенгалия, Индия.....	193
A COMPREHENSIVE REVIEW ON ADVANCING COAL MINING THROUGH INDUSTRY 4.0 AND INDO-RUSSIA COLLABORATION.....	198
Shaw H. K., Rajak A., Chanda A., Pal M., Neogi B.	198
JIS College of Engineering, Kalyani, West Bengal, India	198
ДИСКРЕТНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ ПО ПЕРЕСЫПНОМУ УЗЛУ СТАКЕРА-РЕКЛАЙМЕРА	203
к.т.н. Клишин С.В., Морев А.Э., Тимофеев Т.Т.	203
АО «Моделирование и цифровые двойники», г. Москва, Россия.....	203
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА T-ENERGY	209
к.т.н. Сеченов П.А., д.т.н. Рыбенко И.А.....	209
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	209
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ И РАБОТЫ КОНВЕРТЕРОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	213
Прохоров И. М., к.т.н. Турчанинов Е. Б., к.т.н. Шакиров М. К., д.т.н. Зимин А.В.....	213
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	213
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЯГОВЫХ НАГРУЗОК НА КАЧЕСТВО ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НЕТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В РАЙОНАХ УГЛЕДОБЫЧИ.....	217
¹ Стишенко К.П., ² Герасимук А.В., ¹ к.ф.-м.н. Хаимзон Б.Б., ¹ к.т.н. Кипервассер М.В.	217
1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	217
2 – АО «Сибирский Тяжпромэлектропроект», г. Новокузнецк, Россия	217
ХАРАКТЕРИСТИКИ СХЕМ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОВИГАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ МЕХАНИЗМОВ В ГОРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	222
Александров Н.А., Жданов Е.В., к.т.н. Кипервассер М.В.	222
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	222
ПРИМЕНЕНИЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК.....	226
к.т.н. Поползин И.Ю.	226
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	226
ВЛИЯНИЕ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	230
Жданов Е.В., Александров Н.А., к.т.н. Кубарев В.А.	230
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	230
МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ.....	233
Петрущенко А.Ю.....	233
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	233
РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ.....	238
к.т.н. Кузнецова Е.С., Богдановская Т.В., Игнатенко О.А.	238
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	238
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА МОЩНЫХ ИМПУЛЬСА НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА	243
Кузнецова Е.С., Арбузов И.С.	243
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	243

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ	247
НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА И ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЁТА НОРМАЛЬНОГО И АВАРИЙНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ПРИ ВЗРЫВАХ МЕТАНА И УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ В НЕСТАЦИОНАРНОЙ ПОСТАНОВКЕ.....	249
д.т.н. Палеев Д.Ю.	249
Горный институт УрО РАН, г. Пермь, Россия	249
ОПЕРАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА, ОСНОВАННЫХ НА СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ «ШУМА» РАБОТАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ	257
д.т.н. Шадрин А.В.....	257
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	257
О ПЕРСПЕКТИВНОМ НАПРАВЛЕНИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕМ НА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ	265
¹ к.т.н. Говорухин Ю.М., ² д.т.н. Кубрин С.С.	265
1 – ФГКУ «Национальный горноспасательный центр», г. Новокузнецк, Россия	265
2 – Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН, г. Москва, Россия.....	265
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УДАРНОЙ ВОЗДУШНОЙ ВОЛНЫ С ДИСПЕРГИРОВАННЫМИ СРЕДАМИ (ВОДА).....	270
к.т.н. Говорухин Ю.М., к.т.н. Криволапов В.Г.	270
ФГКУ «Национальный горноспасательный центр», г. Новокузнецк, Россия.....	270
ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОРЯДНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРФОРИРОВАННЫХ ПРЕГРАД ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВО ФРОНТЕ УДАРНОЙ ВОЗДУШНОЙ ВОЛНЫ.....	278
¹ к.т.н. Говорухин Ю.М., ¹ к.т.н. Криволапов В.Г., ² к.т.н. Сенкус Вал.В., ¹ Мясников Н.В.	278
1 – ФГКУ «Национальный горноспасательный центр», г. Новокузнецк, Россия	278
2 – «Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	278
ТОНКОДИСПЕРСНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПЫЛИ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ УГЛЕЙ.....	286
^{1,2} д.т.н. Журавлева Н.В., ³ Журавлева Е.В., ¹ Кутищев А.С.	286
1 – АО «Западно-Сибирский испытательный центр», г. Новокузнецк, Россия	286
2 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	286
3 – АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк, Россия	286
ТЕХНОЛОГИИ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ И ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭКОНОМИКИ – СУБСИТУТЫ ИЛИ КОМПЛЕМЕНТАРИИ?	293
к.э.н. Федюнина А.А., к.т.н. Симачев Ю.В.	293
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия	293
ИЗОЛЯЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ УГОЛЬНЫХ ТЕРРИКОНОВ, СОЛЕОТВАЛОВ И ДАМБ СОВРЕМЕННЫМИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПРОИЗВОДСТВА ГК «МИАКОМ».....	298
¹ Новиков Р.П., ¹ Филиппов М.С., ² д.т.н. Земсков А.Н.	298
1 – ГК «Миаком», г. Санкт-Петербург, Россия	298
2 – АО «Гипроцветмет», г. Пермь, Россия.....	298
ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ И КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ.....	303
¹ д.т.н. Земсков А.Н., ¹ Липницкий Н.А., ² к.т.н. Смирняков В.В.....	303
1 – АО «Гипроцветмет», г. Пермь, Россия.....	303
2 – Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт –Петербург, Россия.....	303
КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОСВЕЩЕНИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ. ОПЫТ КОМПАНИИ «СВЕТКОНСАЛТ» В ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ НА ОСВЕЩЕНИЕ	308
¹ Сасонко П.П., ¹ Бакатнюков В.С., ² д.т.н. Земсков А.Н.	308
1 – ООО «Светконсалт», г. Санкт-Петербург, Россия	308
2 – АО «Гипроцветмет», г. Пермь, Россия.....	308

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЦЕПОЧКИ В УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	
КУЗБАССА	311
¹ д.т.н. Клишин В.И., ¹ д.э.н. Никитенко С.М., ¹ к.э.н. Гоосен Е.В., ² Кавкаева О.	311
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	311
2 – Университет г. Павия, Италия	311
РОЛЬ ГОСУДАРСТВА В ПОДДЕРЖАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ:	
ПРИОРИТЕТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....	317
к.э.н. Саблин К.С., к.э.н. Гоосен Е.В., Гоосен О.К.....	317
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	317
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ СОПРЯЖЕНИЯ	324
¹ д.э.н. Никитенко С.М., ¹ Королев М.К., ² PhD Вайс И.....	324
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	324
2 – EEP Elektro-Elektronik Pranjic GmbH, Гельзенкирхен, Германия	324
О КОМБИНИРОВАННЫХ СПОСОБАХ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНОГО МАССИВА	330
^{1,2} д.э.н. Никитенко С.М., ² к.б.н. Игнатова А.Ю., ³ к.х.н. Овсянникова В.С.....	330
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	330
2 – Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия.....	330
3 – Института химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия	330
ОПЕРАТИВНЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗОН ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ	
В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ПОРОДОУГОЛЬНЫХ МАССИВАХ	337
Калайгорода В.В.....	337
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия	337
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА	
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЯ В АВСТРАЛИИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ.....	343
¹ д.т.н. Зеньков И.В., ² к.т.н. Черепанов Е.В., ³ Мулюшкина А.А., ⁴ к.т.н. Нефедов Б.Н.....	343
1 – ООО «Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела», г. Красноярск, Россия.....	343
2 – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия	343
3 – Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия.....	343
4 – Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск, Россия.....	343
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ НА ЭКОЛОГИЮ КУЗБАССА	347
Чижик Ю.И., к.т.н. Риб С.В., к.т.н. Никитина А.М.....	347
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	347

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

д.т.н. Фрянов В.Н., д.т.н. Павлова Л.Д.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье изложен экспериментально-численный метод прогнозирования пространственно-временного расположения концентраторов повышенных напряжений и метана в массиве горных пород при отработке газоносного угольного пласта. Результаты исследований рекомендуются для оценки рисков возникновения аварий и инцидентов в выемочной панели шахты. Предложены способы и средства предотвращения указанных опасных производственных ситуаций.

Ключевые слова: алгоритм, натурные измерения, угольный пласт, напряжения, деформации, подземная выработка, метод конечных элементов, цифровая модель, авария, инцидент.

Введение. На современных угледобывающих предприятиях широко применяется система подземной разработки угольных пластов длинными комплексно-механизированными забоями с полным обрушением пород кровли [1, 2]. На этапе разработки документации на ведение горных работ согласно требованиям Правил безопасности [3] и других нормативных документов сведения о горно-геологических и горнотехнических условиях отработки угольного пласта в пределах выемочных столбов и панелей ограничены информацией, полученной при проведении геологоразведочных работ с расположением разведочных скважин по профильным линиям через 200-300 м. Поэтому основные параметры выемочных столбов и панелей принимаются в проектной документации усреднёнными без учёта изменений свойств угольных пластов и вмещающих пород между разведочными линиями. При подготовке длинных выемочных столбов горно-геологическая информация уточняется. Однако, в этом случае корректировка информации о свойствах горного массива возможна в пределах зоны влияния поперечного сечения подготовительных выработок, а в выемочном столбе, ширина которого (длина лавы) достигает 500 м [4], учёт влияния неравномерности изменения горно-геологических и горнотехнических условий на показатели очистных забоев проводится с недостаточной для практики надёжностью. Отсутствие достоверной информации о состоянии массива горных пород впереди очистного забоя в выемочном столбе приводит к непрогнозируемым отклонениям фактических показателей очистного забоя от плановых. Причинами таких отклонений ритмичной работы очистного забоя при недостоверной информации об изменчивости состояния угольного пласта и вмещающих пород впереди забоев являются следующие внезапные события: обрушения пород кровли, разрушения краевой части угольного пласта, выделения метана из отрабатываемого угольного пласта, прорывы метана из пород почвы пласта или весьма сближенных пластов-спутников, геодинамические явления при воздействии землетрясений природного или техногенного типов и другие.

Одним из направлений повышения достоверности информации о свойствах массива горных пород в выемочном столбе является прогнозирование геомеханического и газодинамического состояния массива горных пород и выявление предвестников опасных производственных ситуаций впереди очистных и подготовительных забоев на этапе разработки проектной документации и при оперативном управлении горными работами.

Результаты прогноза при синтезе полученной при натурных измерениях ретроспективной информации и численного моделирования предвестников опасных

производственных ситуаций в виде запредельных деформаций пород и угольного пласта в окрестности горных выработок, пространственного положения и энергии концентраторов геодинамических явлений в выемочной панели, прорывов метана и воды из соседних выработок позволят заблаговременно разработать и реализовать мероприятия по предотвращению рисков возникновения опасных производственных ситуаций на угольных шахтах.

С учётом изложенного на действующих предприятиях возникает актуальная проблема обоснования предвестников опасных производственных ситуаций, а также способов и средств предотвращения рисков возникновения аварий и инцидентов на угольных шахтах.

Цель исследований. Разработка экспериментально-численного метода прогнозирования напряжённо-деформированного состояния массива горных пород и предвестников опасных производственных ситуаций для обоснования и предотвращения рисков возникновения аварий и инцидентов на угольных шахтах.

Объектом исследования являются закономерности распределения изменчивости горно-геологических и горнотехнических параметров массива горных пород и их влияние на пространственно-временное распределения концентраторов энергии горного давления и геодинамических явлений для обоснования предвестников опасных производственных ситуаций на потенциально опасных участках впереди очистных и подготовительных забоев отработываемого угольного пласта выемочной панели.

Методика исследования включает анализ горно-геологического строения массива горных пород, планов развития горных работ, способов и средств натуральных измерений деформации горных пород с формированием базы данных. Для прогноза напряжённо-деформированного и газонасыщенного состояния массива горных пород применяются авторские пакеты компьютерных программ [5-7]. При формировании и пополнения базы данных натуральных измерений параметров состояния горных выработок и газоносности угольных пластов предлагается использовать метод нейронных сетей [8-10]. Риск возникновения предвестников опасных производственных ситуаций определяется автоматически с учётом совокупности комплекса влияющих факторов. Способы и средства предотвращения аварий и инцидентов принимаются согласно требованиям действующих нормативных документов [3,11,12].

Научные основы экспериментально-численного метода прогноза геомеханического состояния массива горного пород обоснованы в работах [13 -15]. Сущность метода состоит в прогнозировании параметров геомеханических и газодинамических процессов по численным моделям геомеханики с использованием в качестве граничных условий результатов натуральных измерений деформаций, напряжений, дебита метана в скважины или горные выработки. Алгоритм экспериментально-численного метода позволяет использовать измеренные величины смещений горных пород не только на границах модели, но и в любой точке модели с известными координатами. Настройка параметров модели по измененным смещениям осуществляется автоматически.

Для прогнозирования геомеханических и газодинамических параметров массива горных пород предлагается использование авторских пакетов компьютерных программ [5-7], в которых реализован алгоритм метода конечных элементов с получением в результате моделирования в пределах геометрической двух- или трехмерной модели следующих геомеханических и газодинамических параметров массива горных пород: полный вектор напряжений, смещений и деформаций, отношение остаточной прочности пород к исходной, фильтрационные параметры массива горных пород такие как проницаемость, давление метана, пористость.

Решение задачи прогноза геомеханических и газодинамических параметров массива горных пород осуществляется в следующих постановках:

– нетронутый горный массив до начала ведения горных работ с учётом гравитационного и геотектонического полей напряжений, в том числе с учётом природных и техногенных микроразрывов;

– расчёт геомеханических и газодинамических параметров геомассива под влиянием системы подземных и открытых горных выработок при: упругом и упругопластическом деформировании горных пород; деформирование горных пород с учётом времени эксплуатации выработок;

– расчёт газодинамических параметров геомассива под влиянием подземных и открытых горных выработок: природной газоносности, коллекторов метана при разных вариантах дегазации угольных пластов.

Апробированная область применения компьютерных программ: максимальный размер выемочной панели 10 км, глубина разработки до 1000 м, угол падения свиты пластов 0-90°, количество угольных пластов в свите до 50, максимальное количество угольных пластов и породных слоёв углепородной толщи до 100, общее количество очистных и подготовительных выработок в пределах выемочной панели до 50. По каждому породному слою или угольному пласту вводятся следующие исходные данные: мощность, предел прочности при сжатии. Горные выработки вводятся в задание в виде замкнутых контуров с указанием координат вершин.

В качестве исходных данных, необходимых для формирования граничных условий, используются натурные измерения следующих величин: конвергенция кровли и почвы подготовительной или очистной выработки, конвергенция боков подготовительной выработки, величины пучения пород почвы, давление метана в пласте, изменения прочности угля и пород в боках или кровле подготовительной выработки при её проведении и эксплуатации с указанием времени проведения периодических измерений.

Для оценки изменений прочности пород кровли применяется метод буровых скважин с извлечением керна и определением прочности пород по ГОСТ 24941-81 [19]. Для натуральных измерений напряжений и деформаций в массиве горных пород используются методы и приборы, рекомендованные АО «ВНИМИ» [16-18], сейсмического и сейсмоакустического мониторинга – комплексы типа АЭС, АНГЕЛ, ВОЛНА, КДМ-1, «Массив П», АСКГД [20].

Весьма ценной информацией для настройки параметров математической модели являются результаты измерения напряжений в реальном массиве горных пород. Поэтому рекомендуется измерение напряжений с использованием методов полной или частичной разгрузки [21].

Для идентификации предвестников аварий и инцидентов используется визуально-инструментальная съёмка состояния очистных и подготовительных выработок по пикетам с фотофиксацией деформаций угля и пород по периметру выработок; описание и фотофиксация локальных участков критического состояния пород в виде вывалов, обрушений или расслоений, отжима угля с боков очистных и подготовительных выработок, пучения пород почвы, разрушения элементов крепи, повышения притока воды, суффлярных выделений метана.

Результаты и их обсуждение. Критерием риска возникновения опасных производственных ситуаций являются отклонения фактического состояния геомассива, элементов крепи, параметров шахтной атмосферы от требований нормативных документов. В процессе мониторинга состояния массива горных пород и выработок выделяются и документируются признаки и факты возникновения опасных производственных ситуаций.

В качестве примера аварийного состояния подготовительной выработки на рис. 1 показаны деформации элементов крепи, угольного пласта и вмещающих пород на шахте.

Численное моделирование напряжённо-деформированного состояния геомассива осуществляется с учетом пространственного положения системы очистных и подготовительных выработок на текущий период.



Рис. 1. Виды разрушения угля, пород и элементов крепи в подготовительной выработке

По величинам смещений и отношению остаточной прочности угля и пород предвестников осуществляется идентификация предвестников опасных производственных ситуаций.

На рис. 2 показаны изолинии распределения вертикальных смещений и отношения остаточной прочности угля и пород к исходной в окрестности вентиляционных штреков.

Штреки на рис 2 охраняются ленточными целиками между подготовительными выработками и очистным выработанным пространством, что проявляется в асимметричности формы изолиний. В качестве индикаторов предвестника риска разрушения пород и крепи в окрестности штреков приняты величины и неравномерность распределения вертикальных смещений пород кровли (рис. 2а).

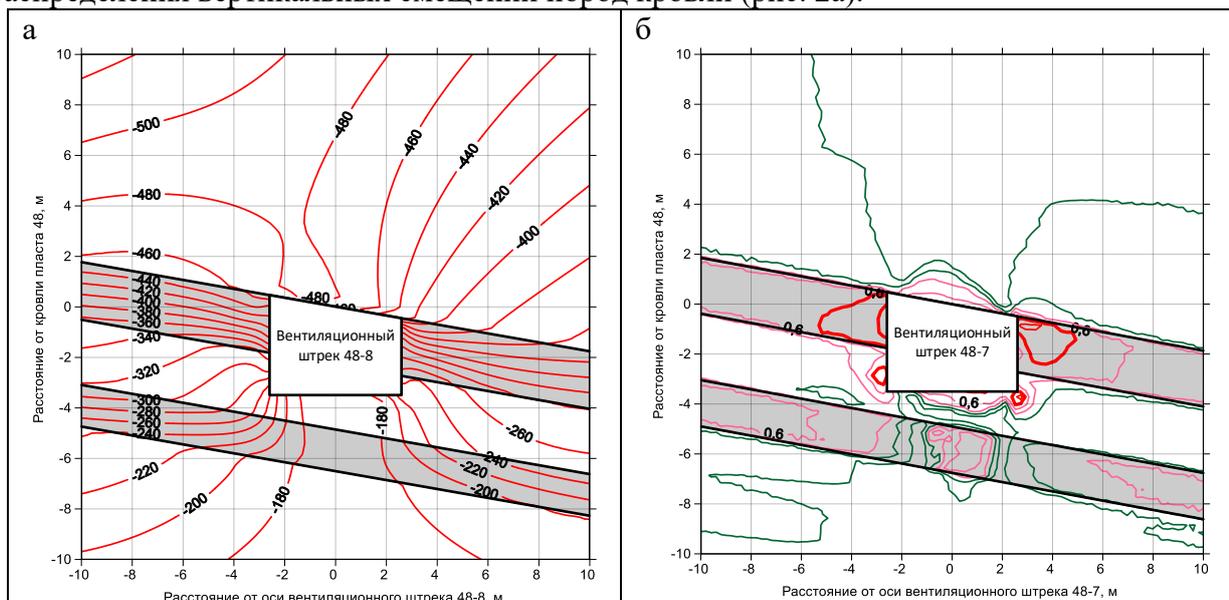


Рис. 2. Изолинии распределения геомеханических параметров в окрестности вентиляционных штреков: а – вертикальные смещения угольного пласта и вмещающих его пород, мм; б – отношение остаточной прочности угля и пород к исходной

По результатам сравнения вычисленной методом конечных элементов и измеренной геофизическими методами глубины изменения прочностных свойств угля на контуре выработки установлено, что разделение угольного массива под влиянием горного давления на блоки происходит при отношении остаточной прочности угля к исходной $R=0,8$, при $R<0,5$ угольный пласт в боках выработки разрушается. По указанным индикаторам разрушения угля в окрестности выработки согласно графикам рис. 2б следует ожидать отжим угля со стороны целика глубиной 2,2 м, а отработываемого угольного столба 2,0м. В связи с наличием в почве выработки весьма сближенного пласта в качестве предвестника инцидента прогнозируется прорыв метана из этого пласта.

Результаты прогноза предвестников опасных производственных ситуаций сравниваются с признаками фактически произошедших аварий и инцидентов, зафиксированных в процессе мониторинга. В случае отклонений фактических и прогнозных признаков аварий или инцидентов проводится корректировка по величинам измеренных смещений горных пород граничных условий алгоритма модели численного моделирования.

При соответствии прогнозируемых и фактически признаков и параметров опасных производственных ситуаций осуществляется численное моделирование, прогноз напряжённо-деформированного состояния массива горных пород, выявление предвестников и оценка рисков опасных производственных ситуаций на будущие периоды впереди очистных и подготовительных забоев.

На основе полученных результатов численного моделирования осуществляется анализ и выбор технологических и организационных мероприятий, реализация которых позволит снизить риск возникновения аварии или инцидента.

Для оценки эффективности мероприятий по предотвращению опасных производственных ситуаций проведено тестирование разработанного экспериментально-численного метода прогноза напряжённо-деформированного состояния массива горных пород в окрестности очистного забоя и диагональной печи.

На рис. 3 представлены изолинии распределения геомеханических параметров в окрестности очистного забоя и диагональной выработки: коэффициента концентрации вертикальных напряжений и отношения остаточной прочности угля к исходной. Для моделирования приняты следующие горно-геологические условия: мощность пласта 1,0 м, глубина разработки 390 м, предел прочности угля при одноосном сжатии 6 МПа, вмещающие породы представлены слоями алевролитов и песчаников с пределом прочности при одноосном сжатии 55-118 МПа.

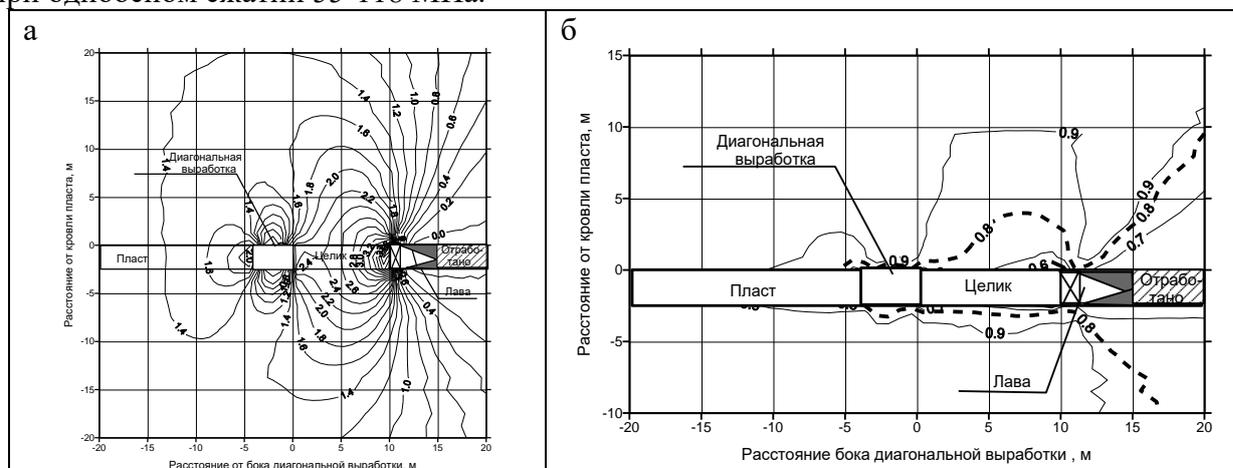


Рис. 3. Изолинии распределения геомеханических параметров в окрестности очистного забоя и диагональной выработки: а – коэффициент концентрации вертикальных напряжений; б – отношение остаточной прочности угля и пород к исходной

По результатам анализа графиков распределения геомеханических параметров возможны следующие риски возникновения опасных производственных ситуаций.

При коэффициенте концентрации вертикальных напряжений в средней части угольного целика $K=2,6$ (рис. 3а), глубине разработки $H=390$ м и объёмном весе осадочных пород $\gamma=2500$ кг/м³ вертикальное напряжение $\sigma_v=25,3$ МПа, что существенно превышает предел прочности угля при сжатии 6 МПа. В этом случае возможен коллапс при разрушении целика, крепи диагональной выработки и, как следствие, геодинамические явления в виде горного удара или внезапного выброса угля. Возможность разрушения угля в целике подтверждается графиками рис. 3б, где уголь под влиянием опорного горного давления структурирован на блоки. Для предотвращения опасного геодинамического

явления предлагается проведение предупредительных мероприятий, направленных на разгрузку угольного целика. В настоящее время наиболее распространёнными способами снижения горного давления в целике являются проведение разгрузочных скважин или щелей направленного гидроразрыва.

На рис. 4 показано влияние разгрузочных скважин на геомеханические параметры геомассива. Согласно графикам рис. 4 бурение разгрузочных скважин приводит к перераспределению горного давления в окрестности очистного забоя и диагональной выработки. В угольном целике в зоне влияния разгрузочных скважин вертикальные напряжения уменьшаются почти в 1,4 раза, но энергия горного давления передаётся в краевые участки пласта в очистном забое и в дальний от очистного забоя бок диагональной выработки.

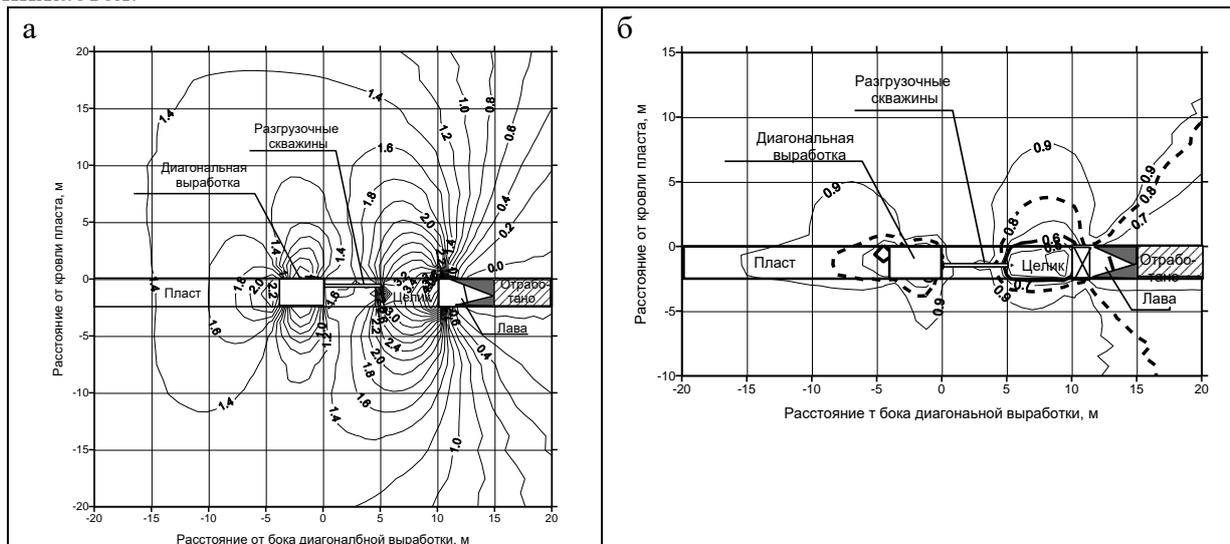


Рис. 4. Изолинии распределения геомеханических параметров в окрестности очистного забоя и диагональной выработки после бурения разгрузочных скважин в угольном целике: а – коэффициент концентрации вертикальных напряжений; б – отношение остаточной прочности угля и пород к исходной

На рис. 5 показано влияние щели направленного гидроразрыва на геомеханические параметры [22].

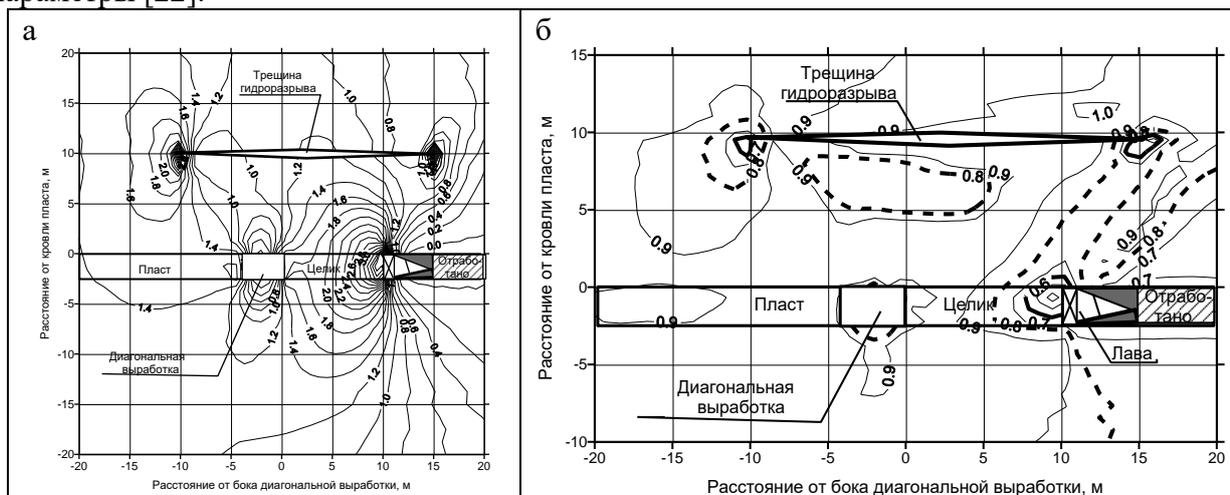


Рис. 5. Изолинии распределения геомеханических параметров в окрестности очистного забоя и диагональной выработки после формирования щелей направленного гидроразрыва в кровле пласта над угольным целиком: а – коэффициент концентрации вертикальных напряжений; б – отношение остаточной прочности угля и пород к исходной угля в целике между очистным забоем и диагональной печью впереди забоя

Согласно графикам рис. 5 происходит частичная разгрузка угольного целика и повышается его устойчивость, в том числе в окрестности очистного забоя и диагональной выработки. Энергия горного давления, в том числе зависающих пород кровли передаётся на краевые участки щели направленного гидроразрыва.

Выводы. Разработан и апробирован на тестовых примерах экспериментально-численный метод прогнозирования напряжённо-деформированного состояния массива горных пород для обоснования и предотвращения рисков возникновения опасных производственных ситуаций на угольных шахтах.

Список литературы

1. Мешков Г.Б. Петренко И.Е., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за 2023 год // Уголь. – 2024. – №3. – С.18-29.
2. Зеньков И.В. Исследование технологических аспектов предприятий угольной промышленности на территории восточной части США с использованием информационных ресурсов спутниковой съёмки // Научно-технический вестник Центрального федерального университета. – 2022. – №8. – С. 75-78.
3. Правила безопасности в угольных шахтах: Фед. нормы и правила в области пром. безопасности: утв. приказом Ростехнадзора от 08.12.2020г., с изм. 07 апреля 2022г.
4. Технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс»: альбом / В.Н. Демура, В.Б. Артемьев, С.В. Ясюченя [и др.]. – М.: Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2014. – 256 с.
5. Корнев Е.С., Павлова Л.Д., Фрянов В.Н. Численное моделирование геомеханических процессов при короткозабойной отработке угольных пластов: монография – Прага : Vědecko vydavatelské centrum «Sociosféra-CZ», 2014. – 206 с.
6. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 2673. Пространственная расчётная модель динамического блочного обрушения горных пород с последовательным накоплением повреждений / В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова; Дата регистр. 05.06.2003. – М.: Роспатент, 2003.
7. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2020618595. Программный комплекс для моделирования геомеханических процессов в структурно неоднородном геомассиве при взаимном влиянии системы подземных горных выработок / В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова, А.Б. Цветков; ФГБОУ ВО Сиб. гос. индустр. ун-т. – Фед. служба по интеллект. собств.; дата регистр. 30 июля 2020.
8. Дворянчиков М.В., Павлова Л.Д. Разработка нейронной сети для предиктивной аналитики метановыделения при подземной угледобыче // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – №7. – С. 83-86.
9. Дворянчиков М.В., Павлова Л.Д. Предобработка данных с датчиков аэрогазового контроля при подземной отработке газоносных угольных пластов для нейросетевого анализа данных // Научно-технический вестник Центрального федерального университета. – 2021. – №7. – С. 250-253.
10. Куприянов В.В. Распознавание классов подземных аварий в угольных шахтах на основе нейросетевой технологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – №8. – С. 148-153.
11. Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений: Фед. нормы и правила в области пром. безопасности. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2020. – Серия 05. – Выпуск 49. – 148 с.
12. Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах: рук-во по безопасности. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2020. – Серия 05. – Выпуск 53. – 176 с.

13. Грицко Г.И., Власенко Б.В. Экспериментально-аналитический метод определения напряжений в массиве горных пород. – Новосибирск: Наука, 1976. – 190 с.
14. Курленя М.В., Серяков В.М., Ерёмченко А.А. Техногенные геомеханические поля напряжений. – Новосибирск: Наука, 2005. – 264 с.
15. Теоретические основы формирования и реализации адресно-ориентированной информационной базы для автоматизированного проектирования технологической системы шахты / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – №1. – С. 77-86.
16. Применение современных технических средств мониторинга для оценки соответствия проектных параметров анкерной крепи изменяющимся условиям проведения подземных выработок / А.В. Рогачков, А.С. Позолотин, В.Ф. Исамбетов [и др.] // Уголь. – 2012. – № 12. – С. 38- 40.
17. Исследование устойчивости подготовительных выработок, закреплённых анкерной крепью, оказавшихся в сложных аварийных ситуациях при отработке угольных пластов на шахтах Кузбасса / Е.А. Разумов, В.Г. Венгер, С.И. Калинин [и др.] // Уголь. – 2021. – № 11. – С. 13-18.
18. Направление главного вектора горизонтальных напряжений в углепородном массиве и устойчивость подготовительных выработок / Е.А. Разумов, В.Г. Венгер, Е.Ю. Пудов [и др.] // Горный журнал. – 2022. – № 1. – С. 119-124.
19. ГОСТ 24941-81 Породы горные. Методы определения механических свойств нагружением сферическими инденторами. – Введ. 01.07.1982. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 8 с.
20. Захаров В.Н., Забурдяев В.С., Артемьев В.Б. Углепородные массивы: прогноз устойчивости, риски, безопасность. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2013. – 280 с.
21. Грэй И., Шутов А.Б. Измерение напряжений в горном массиве методом обуривания с помощью инструмента SIGRA IST // Горный журнал. – 2022. – №1. – С. 50-54.
22. The influence of coal and enclosing rock fracturing on the management of the rock massif during the exploitation of thick coal seams by the longwall top coal caving technology / SV Klishin, G.Y. Opruk, E.L. Varfolomeev [et al.] // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 823 (2021). – 012011. – 7 с.

УДК 681.5

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

^{1,2}к.т.н. Грачев В.В., ³д.т.н. Ивушкин А.А., ¹д.т.н. Мышляев Л.П.,
^{1,2}к.т.н. Макаров Г.В.

**1 – ООО «Научно-исследовательский центр систем управления»,
г. Новокузнецк, Россия**

**2 – Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия**

3 – ООО «Объединенная компания «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье показана необходимость проведения совершенствования систем автоматизации управления технологическими комплексами (САУ ТК) углеобогажительных фабрик (ОФ), созданных в начале XX века. Представлены недостатки действующих САУ ТК ОФ и определены этапы их модернизации. Предложена схема технической структуры САУ ТК ОФ, основу которой составляют технические средства и программное обеспечение отечественного производства, отвечающие самым современным