



ГЕОМЕХАНИКА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Азаров А. В., Сердюков А. С., Патутин А. В. Исследование особенностей развития трещины гидроразрыва пласта вблизи цилиндрической полости	5
Барышников В. Д., Барышников Д. В., Гахова Л. Н. Оценка изменений напряженно-деформированного состояния массива в окрестности горной выработки в зависимости от температурного режима ее проветривания	12
Миренков В. Е. Численный расчет деформирования массива около выработок	19
Разумов Е. А., Венгер В. Г., Калинин С. И. О выборе величины коэффициента бокового отпора при отработке угольных пластов на больших глубинах.....	24
Темиряева О. А. Обзор исследований стимулирования газоотдачи угольного пласта	30
Усольцева О. М., Цой П. А. Характер изменения деформационно-прочностных свойств горных пород в зависимости от температуры и степени водонасыщения.....	39
Фряннов В. Н., Павлова Л. Д., Петрова О. А. Численное обоснование порядка отработки свиты наклонных угольных пластов	46
Хохолов Ю. А., Курилко А. С., Киселев В. В., Соловьев Д. Е. Математическое моделирование формирования искусственного ледяного массива методом факельного намораживания на дне отработанного карьера криолитозоны	53
Чанышев А. И., Городилов Л. В., Чецин Д. О., Степанов Д. В., Рублев Д. Е., Першин А. И., Плохих В. В. Разработка методики измерений 3d-смещений поверхности при движении пневмопробойника в грунте	61

ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Гаврилов В. Л., Немова Н. А., Резник А. В., Косарев Н. С., Смык М. И., Медведева К. Е. О нарушении земель при освоении минерально-сырьевой базы восточной части Новосибирской области	69
Жариков С. Н., Кутуев В. А. Способ упрощенного определения параметров контурного взрывания при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.....	78
Павлов С. А. Исследование процесса изменения концентрации метана в сверхдлинной угольной лаве при использовании струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне	85
Хосоев Д. В. Оценка безвзрывной разработки вскрышных пород и углей Эльгинского месторождения комбайнами Wirtgen.....	92

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Размахнин К. К., Хатькова А. Н., Шумилова Л. В. Рациональное и комплексное использование цеолитсодержащих пород в технологиях управления горнопромышленными отходами.....	98
Семьянова Д. В. Применение комбинации реагентов при флотации флюоритовых руд.....	104
Слепцова Е. С., Еремеева Н. Г. Проведение экспериментальных работ по обогащению руд месторождения Вертикальное с целью получения свинцовых концентратов.....	109
Ширман Г. В., Матвеев А. И. Экспериментальные исследования по дезинтеграции высокоглинистых песков и обогащению тяжелых минералов в бескрубберной промышленной установке	114

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Городилов Л. В., Кудрявцев В. Г. Исследование динамики золотникового распределителя с дроссельным регулированием при воздействии гидроударной волны	121
Данилов Б. Б., Речкин А. А. Зависимость изменения энергии бойка от формы сечения стационарно установленного упругого клапана при их взаимодействии в ударной машине	128
Зедгенизов Д. В. Алгоритм переключения системы автоматического управления тоннельным вентилятором в режим динамического регулирования расхода воздуха.....	134
Морозов А. В., Левенсон С. Я. Вибрационное оборудование для безопасного формирования автомобильных отвалов на карьерах.....	138
Тищенко И. В., Ванаг Ю. В. Коррекция траектории движения грунтопроходчика.....	145
Чещин Д. О., Данилов Б. Б., Плохих В. В. Обоснование компоновки бесштангового пневмоударного устройства для бурения скважин	151

Номер подготовлен на основе материалов Всероссийской научной конференции “Освоение месторождений полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях и на больших глубинах горных работ” (Новосибирск, 3 – 7 октября 2022 года).



GEOMECHANICS AND ITS APPLICATIONS

Azarov A. V., Serdyukov S. V., and Patutin A. V. Studying the features of hydraulic fracture propagation near a cylindrical cavity	5
Baryshnikov V. D., Baryshnikov D. V., and Gahova L. N. Assessment of changes in stress-strain state of the rock mass in the vicinity of a mine working depending on its temperature ventilation mode.....	12
Mirenkov V. E. Numerical calculation of rock mass deformation near mine workings	19
Razumov E. A., Venger V. G., and Kalinin S. I. About selection of lateral repulse coefficient value when mining coal seams at great depths	24
Temiryayeva O. A. Review of coal seam gas recovery stimulation studies	30
Usol'tseva O. M. and Tsoi P. A. Character of change in stress-strain properties of rocks depending on temperature and water saturation level	39
Fryanov V. N., Pavlova L. D., and Petrova O. A. Numerical justification of mining order applied to the formation of steeply dipping coal seams.....	46
Khokholov Yu. A., Kurilko A. S., Kiselev V. V., and Solov'ev D. E. Mathematical modeling of artificial ice massif formation by jet freezing at the bottom of mined-out quarry in permafrost zone	53
Chanyshev A. I., Gorodilov L. V., Cheshchin D. O., Stepanov D. V., Rublev D. E., Pershin A. I., and Plokhikh V. V. Development of a procedure for measuring 3d surface displacements during pneumatic punch movement in soil	61

MINERAL DEPOSIT MINING TECHNOLOGIES

Gavrilov V. L., Nemova N. A., Reznik A. V., Kosarev N. S., Smyk M. I. and Medvedeva K. E. About land disturbance when developing mineral resource base in the eastern part of the Novosibirsk region.....	69
Zharikov S. N. and Kutuev V. A. Simplified determination of perimeter blasting parameters during open-pit mining of mineral deposits.....	78
Pavlov S. A. Study of methane concentration change in extra-long wall of coal using a jet fan installed on a cutter-loader	85
Khosoev D. V. Estimation of blast-free mining of overburden rocks and coals from the Elginsky deposit by Wirtgen cutter loaders	92

MINERAL PROCESSING AND CONCENTRATION TECHNOLOGIES

Razmakhnin K. K., Khatkova A. N., and Shumilova L. V. Efficient and integrated use of zeolite-containing rocks in mining waste management technologies.....	98
Semyanova D. V. Use of reagent combination in fluorite ore flotation	104
Sleptsova E. S. and Ereemeeva N. G. Experiments on dressing ores from the Vertikalnoye deposit to obtain lead concentrates	109
Shirman G. V. and Matveev A. I. Experimental studies on disintegration of high-clay sands and concentration of heavy minerals in a scrubberless washing plant	114

MINING MACHINES AND EQUIPMENT

Gorodilov L. V. and Kudryavtsev V. G. Investigation of the dynamics of a spool valve with throttle control under the influence of hydraulic shock wave	121
Danilov B. B. and Rechkin A. A. Dependence of change in striker energy on section shape of a permanently installed elastic valve during their interaction in percussive machine.....	128
Zedgenizov D. V. Algorithm for switching the automatic control system of the tunnel fan to dynamic air flow adjustment mode.....	134
Morozov A. V. and Levenson S. Ya. Vibratory equipment for the safe formation of truck dumps in open-pit mines.....	138
Tishchenko I. V. and Vanag Yu. V. Correction of tunneling machine travel path.....	145
Cheshchin D. O., Danilov B. B., and Plokhikh V. V. Justification of configuration of rodless pneumatic impact device for drilling boreholes	151

The issue was prepared on the basis of proceedings of All-Russian Scientific Conference on Mineral Deposit Development in Difficult Mining and Geological Conditions and at Great Mining Depths (Novosibirsk, October, 3–7, 2022).



**ЧИСЛЕННОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОРЯДКА ОТРАБОТКИ
СВИТЫ НАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

В. Н. Фрянов, Л. Д. Павлова, О. А. Петрова

*Сибирский государственный индустриальный университет,
E-mail: ld_pavlova@mail.ru, ул. Кирова 42, г. Новокузнецк 654007, Россия*

Аннотация. По результатам анализа горно-геологических условий залегания свиты наклонных угольных пластов и расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород обоснован порядок подготовки и отработки выемочных столбов. При моделировании учтена слоистая неоднородная структура породных слоев и угольных пластов в соответствии с реальной стратиграфией и литологией, а также прочностные и деформационные свойства угольных пластов и породных слоев, форма и размеры выработок, разрывные геологические нарушения. Установлено, что наиболее опасными зонами являются участки массива горных пород, где происходит наложение зон повышенного горного давления двух соседних пластов и возможны динамические явления в виде горных ударов. В качестве оптимальной предлагается схема отработки угольных пластов в нисходящем порядке с расположением отработанных столбов па падению свиты и с отставанием границ выработанных пространств по нижним пластам на 1–2 отработанных столба относительно очистных выработок в верхнем пласте.

Ключевые слова: свита пластов, выемочный столб, напряжения, остаточная прочность, смещения, численное моделирование

**NUMERICAL JUSTIFICATION OF MINING ORDER
APPLIED TO THE FORMATION OF STEEPLY DIPPING COAL SEAMS**

V. N. Fryanov, L. D. Pavlova, and O. A. Petrova

*Siberian State Industrial University, E-mail: ld_pavlova@mail.ru,
ul. Kirova 42, Novokuznetsk 654007, Russia*

Abstract. Based on the results of the analysis of mining and geological conditions of occurrence of the formation of inclined coal seams and the calculation of the stress-strain state of the rock mass, the procedure for preparing and mining the extraction pillars is justified. The modeling takes into account the layered heterogeneous structure of rock layers and coal seams in accordance with real stratigraphy and lithology, as well as strength and deformation properties of coal seams and rock layers, the shape and size of mine workings, discontinuous geological disturbances. It is determined that the most hazardous zones are sections of the rock mass, where the zones of increased rock pressure of two adjacent layers overlap and dynamic phenomena in the form of rock bumps are possible. An optimal method is proposed for mining coal seams in a descending order with the location of mined-out pillars on dip of the suite and with the boundaries of mined-out spaces along the lower layers lagging behind by 1-2 mined-out pillars relative to the stopes in the upper layer.

Keyway: formation, extraction pillar, stresses, residual strength, displacements, numerical modeling

ВВЕДЕНИЕ

Угольные месторождения основных бассейнов в сейсмически активных районах представлены в виде свит наклонных пластов. Осложняющими факторами при разработке таких месторождений являются изменчивость угла падения и взаимное влияние подземных выработок на

соседних сближенных пластах при восходящем или нисходящем порядке их отработки. По результатам шахтного мониторинга состояния горных выработок выделены следующие аномальные явления на наклонных пластах по сравнению с пологими пластами:

- разрушение угля и пород в боках выработок со стороны восстания пласта с формированием трещин по напластованию;
- асимметричный характер распределения смещений пород кровли в поперечном сечении выемочных штреков и угольных целиков;
- прорывы воды с всячего бока выработки;
- скопление метана в верхней части поперечного сечения выработки.

Влияние указанных факторов при прогнозе напряженно-деформированного состояния массива горных пород и выборе параметров крепи в нормативных документах учитывается в виде поправочных коэффициентов [1], а при аналитических исследованиях пласт принимается, как правило, горизонтальным [2]. Однако в реальных условиях на стадии создания или корректировки проектной документации необходимо решить актуальную задачу формирования альтернативных и выбора оптимального по геомеханическим условиям варианта технологии разработки свиты пластов с учетом информации о пространственной изменчивости горно-геологических параметров месторождения, в том числе угла падения и сближенности свиты угольных пластов.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленной задачи в качестве объекта исследования принят лицензионный участок Увального каменноугольного месторождения Кузбасса. В вертикальном разрезе по падению свиты пластов рассмотрено три пласта: 78 н.п., 67 и 66 (рис. 1).

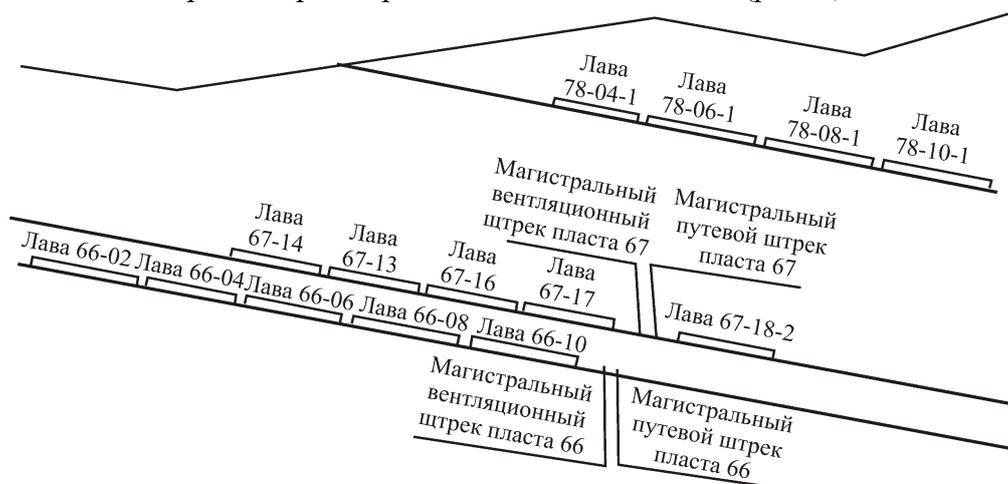


Рис. 1. Вертикальная схема свиты пластов участка Увальный с одним из вариантов расположения выемочных участков и подготовительных выработок

Верхний пласт 78 н.п. сложного строения имеет мощность 3.52–4.87 м. Кровля пласта представлена алевролитом мелкозернистым с переслаиванием алевролитовых разностей. Мощность пород непосредственной кровли 8.1 м, предел прочности пород при сжатии 15.9 МПа. Непосредственная почва пласта мощностью 3.5 м включает переслаивание алевролитовых разностей с пределом прочности при сжатии 36.7 МПа.

Пласт 67 мощностью 1.84–3.18 м залегает на расстоянии 148 м от верхнего пласта 78 н.п. Непосредственная кровля пласта 67 мощностью 6.9–14.8 м представлена мелкозернистым алевролитом с пределом прочности при сжатии 13.4–17.0 МПа. Основная кровля пласта мощностью 21.5 м включает крупнозернистые алевролиты прочностью при сжатии 28.1–44.6 МПа. Непосредственная почва пласта 67 состоит из алевролита мелкозернистого мощностью 0.3–7.0 м, предел прочности при сжатии 15.9 МПа.

Нижний пласт 66 залегает на расстоянии 32 м от пласта 67. Непосредственная кровля пласта представлена алевролитом мелкозернистым мощностью 9.3 м, прочность при сжатии 13.3–17.0. Основная кровля пласта 66 включает переслаивание алевролита с песчаником. Мощность пород основной кровли при равна 22.5 м, предел прочности при сжатии 36.7 МПа. Предел прочности угля на всех пластах при сжатии принят 6.6 МПа, при растяжении — 2.0 МПа.

Алгоритм решения задачи включал конструирование альтернативных вариантов вскрытия, подготовки и отработки свиты пластов и моделирование геомеханических процессов по каждому варианту. По результатам численного решения проводилось геомеханическое обоснование оптимального варианта расположения системы подготавливаемых и обрабатываемых выемочных участков в пределах всего шахтного поля.

При конструировании вариантов расположения выемочных столбов рассмотрены схемы отработки пластов в нисходящем, восходящем и комбинированном порядке [3–5], а также очередность выемки ярусов по падению и восстанию в пределах отдельных пластов. Для оценки напряженно-деформированного состояния в каждом варианте расположения очистных и подготовительных выработок проведено численное моделирование методом конечных элементов [6]. Общая схема дискретизации одного из вариантов геометрической модели на конечные элементы представлена на рис. 2.

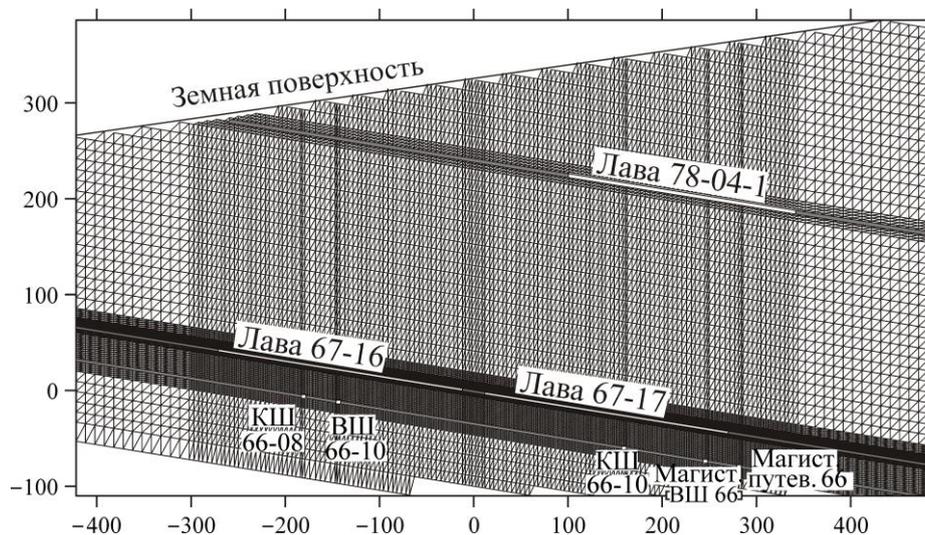


Рис. 2. Схема дискретизации геометрической модели: КШ 66-08 — конвейерный штрек 66-08; ВШ 66-10 — вентиляционный штрек 66-10; магистр. ВШ 66 — магистральный вентиляционный штрек пласта 66; магистр. путей. 66 — магистральный путевой штрек пласта 66

Исследуемая область массива горных пород в виде вертикального разреза всей толщи автоматически разбивается на конечные элементы. При этом учитывается слоистая неоднородная структура породных слоев и угольных пластов в соответствии с реальной стратиграфией и литологией, а также индивидуальные прочностные и деформационные свойства угольных пластов и породных слоев (табл. 1).

Форма и размеры выработок, разрывные нарушения, контакты соседних породных слоев и угольных пластов учитываются в модели посредством ввода в задание их контуров в глобальной системе координат. Для повышения точности расчетов размеры сторон конечных элементов вблизи выработок и нарушений принимаются равными 0.2–0.5 м, а угольные пласты и боковые породы делятся на подслои. Задача решается с учетом гравитационного, геотектонического и техногенного полей напряжений и в каждом варианте определяется полный вектор напряжений, деформаций, а также коэффициент остаточной прочности угля и пород.

ТАБЛИЦА 1. Характеристики физико-механических свойств угля и вмещающих пород

Наименование породы	Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$, МПа	Предел прочности при растяжении σ_p , МПа	Модуль Юнга $E \cdot 10^{-4}$, МПа
Уголь	6.10–7.38	1.71–2.35	0.60–1.00
Аргиллит углистый	7.29–11.22	1,84–2.62	0.90–1.67
Аргиллит	12.08–17.74	1.98–2.99	1.20–2.53
Алевролит мелкозернистый	13.37–17.03	2.49–3.57	1.69–2.78
Алевролит крупнозернистый	23.45–32.19	2.89–4.49	2.11–3.18
Песчаник мелкозернистый	45.30–66.67	1.88–5.96	1.20–3.74
Песчаник среднезернистый	51.71–77.76	3.10–8.25	2.25–4.40
Песчаник крупнозернистый	23.30–86.15	3.55–9.86	2.59–5.25
Переслаивание алевролита с песчаником	28.06–44.59	2.90–5.09	2.17–3.34

Коэффициент остаточной прочности определялся по паспорту прочности Мора (рис. 3).

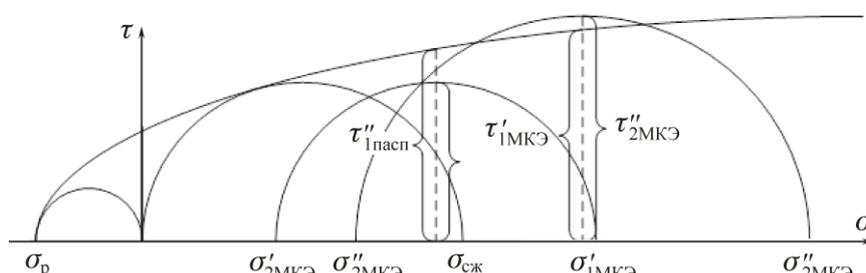


Рис. 3. Схема определения коэффициента остаточной прочности угля и пород: σ, τ — нормальные и касательные напряжения в массиве горных пород, МПа; $\sigma_{сж}, \sigma_p$ — пределы прочности породных образцов при одноосном сжатии и растяжении, определяемые в лабораторных условиях, МПа; $\sigma'_{2МКЭ}, \sigma''_{2МКЭ}$ — минимальные нормальные напряжения, вычисленные для реальной горнотехнической ситуации, МПа; $\sigma'_{1МКЭ}, \sigma''_{1МКЭ}$ — максимальные нормальные напряжения, вычисленные для реальной горнотехнической ситуации, МПа; $\tau'_{1МКЭ}, \tau''_{2МКЭ}$ — касательные напряжения, вычисленные для реальной горнотехнической ситуации, МПа; $\tau'_{1насп}, \tau''_{2насп}$ — касательные напряжения, вычисленные по паспорту прочности пород при известных главных нормальных напряжениях, МПа

Коэффициент остаточной прочности угля и пород определяется как отношение касательных напряжений, вычисленных по паспорту прочности при известных главных нормальных напряжениях к касательным напряжениям, вычисленным методом конечных элементов для реальной горнотехнической ситуации. При анализе коэффициента остаточной прочности по результатам массового обследования состояния угля и пород на контуре выработок приняты критерии, представленные в табл. 2, $0.5 \leq R < 0.8$.

ТАБЛИЦА 2. Критерии определения коэффициента остаточной прочности

Критерий	Состояние угля или породы
$R > 1.0$	Уголь или порода находятся в упругом состоянии без нарушения сплошности
$0.8 \leq R < 1$	Уголь или порода находятся в блочном состоянии, нарушены крупными трещинами
$0.5 \leq R < 0.8$	Уголь или порода находятся в запредельном состоянии, нарушены системой трещин
$R < 0.5$	Уголь или порода разрушены, наблюдается интенсивный отжим с боков выработки

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе проведения исследований моделировались различные сочетания расположения выемочных столбов и подготовительных выработок, наиболее представительные результаты приведены на рис. 4–6. В качестве примера на рис. 4 приведены изолинии распределения гори-

горизонтальных смещений после отработки двух выемочных столбов на верхнем пласте 78 н.п. и одного столба на промежуточном пласте 67. Под влиянием угла наклона свиты пластов наблюдается ассиметричный характер распределения горизонтальных смещений и сдвиг подработанных пород в сторону восстания пластов и очистного выработанного пространства.

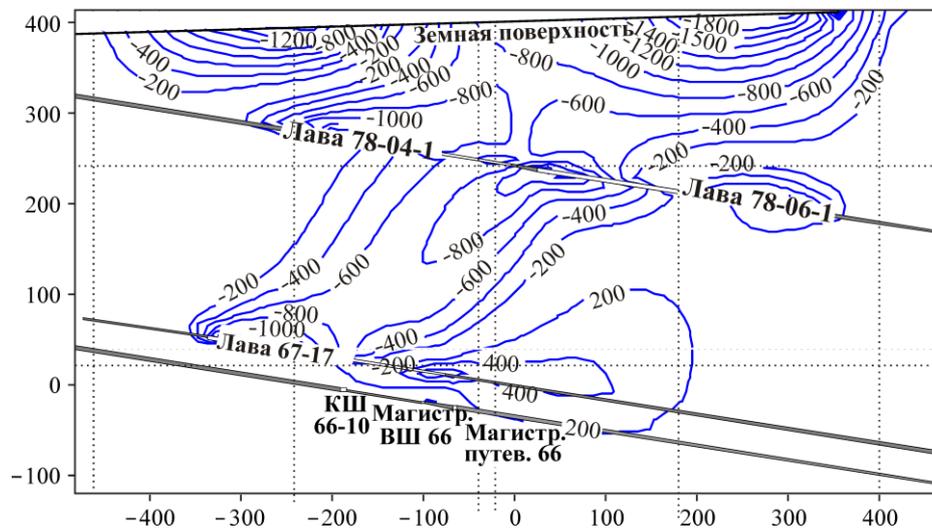


Рис. 4. Изолинии горизонтальных смещений (мм) в окрестности отработанных лавами выемочных столбов 67-17 угольного пласта 67, выемочных столбов 78-04-1, 78-06-1 пласта 78 н.п.

Совместное влияние отработанных выемочных столбов на вертикальные напряжения после частичной отработки трех пластов свиты приведено на рис. 5. Наиболее нагружены краевые участки пластов и угольные целики. Особенно опасными являются участки массива горных пород, где происходит наложение зон повышенного горного давления двух соседних пластов и возможны динамические явления в виде горных ударов. В зоне полной подработки формируются растягивающие напряжения.

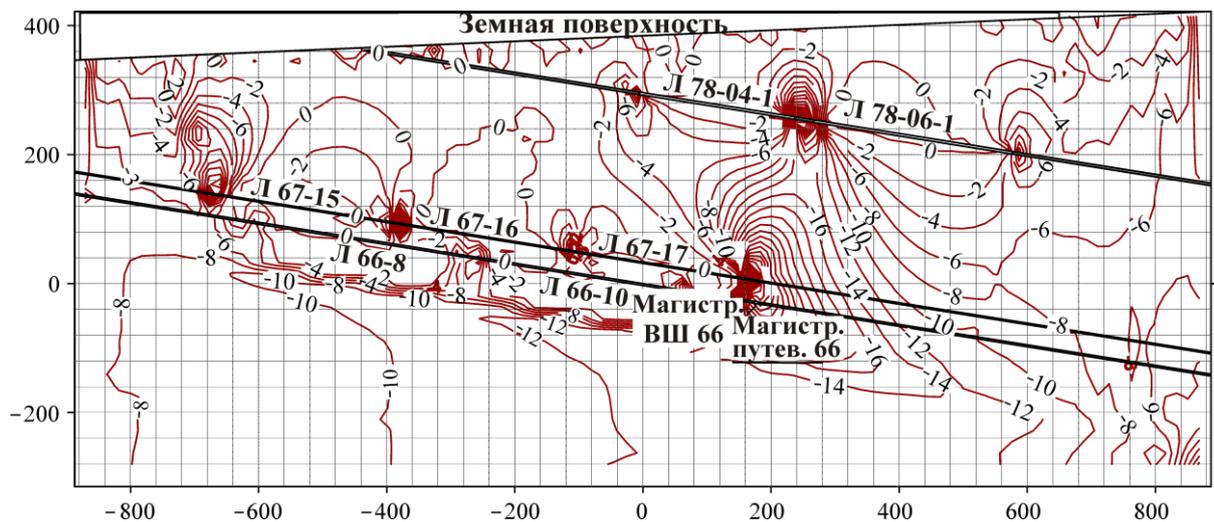


Рис. 5. Изолинии распределения вертикальных напряжений в массиве горных пород (МПа) в окрестности отработанных лавами выемочных столбов 78-04-1, 78-06-1 пласта 78 н.п., 67-15, 67-16, 67-17 угольного пласта 67, выемочных столбов 66-08, 66-10 пласта 66

Распределение коэффициента остаточной прочности в пределах всей зоны сдвижения приведено на рис. 6. В зоне разгрузки под выработанным пространством пласта 78 н.п. в угольных пластах 67 и 66 под влиянием растягивающих напряжений возникают упругопластические

деформации, которые приводят к формированию зоны предразрушения. Наиболее опасными являются зоны влияния угольных целиков и краевых участков пластов. Согласно рис. 6 можно утверждать, что опережающая отработка пласта 78 н.п. со сдвигом по падению пласта на 1-2 отработанных выемочных столба приводит не только к снижению размеров опасных зон, но и разгрузке надрабатываемых пластов 67 и 66.

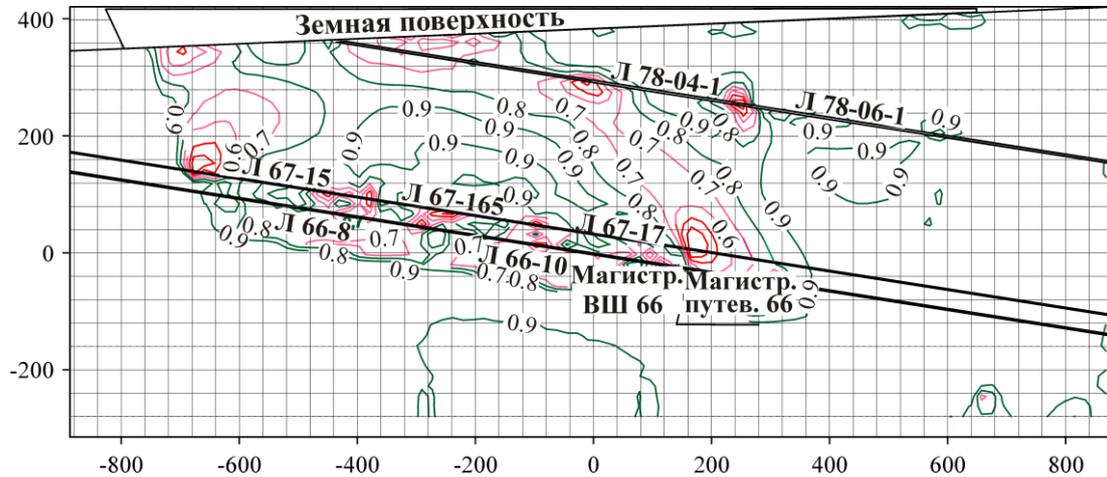


Рис. 6. Изолинии коэффициента остаточной прочности угля и пород при совместном влиянии отработанных лавами выемочных столбов 78-04-1, 78-06-1 пласта 78 н.п., 67-15, 67-16, 67-17 угольного пласта 67; выемочных столбов 66-08, 66-10 и подготовительных выработок пласта 66

По результатам численного моделирования обоснованы следующие варианты пространственного расположения выемочных столбов на отдельном пласте и с учетом зон повышенного горного давления на соседних пластах свиты. Оптимальной схемой расположения выемочных столбов является последовательная отработка свиты пластов 78 н.п, 67 и 66 в нисходящем порядке с расположением отработанных столбов па падению свиты и с отставанием границ выработанных пространств по нижним пластам на 1-2 отработанных столба относительно очистных выработок в верхнем пласте.

Опережающая отработка верхнего пласта 78 н.п. со сдвигом по падению пласта на 1-2 отработанных выемочных столба приводит не только к снижению опасных зон, но и разгрузке надрабатываемых пластов 67 и 66. Этот вариант пространственно-временного расположения отработываемых выемочных столбов пластов 78 н.п., 67 и 66 рекомендуется как оптимальный при отработке свиты пластов Увального каменноугольного месторождения Кузбасса.

Вариант расположения одновременно отработываемых друг под другом выемочных столбов пластов 78 н.п. и 67 нежелателен, так как возможны следующие негативные явления:

- активизация процесса сдвижения горных пород при обрушении зависающих подрабатываемых пород кровли на соседних пластах и в выемочных столбах;
- внезапное динамическое разрушение угольных пластов в целиках и краевых участках в форме горного удара, прорыва газа или воды;
- знакопеременные деформации надрабатываемого пласта 66 с разгрузкой в виде пучения пород в средней части отработываемого столба и с формированием зон повышенного горного давления в краевых частях.

ВЫВОДЫ

На основании анализа результатов исследований обоснован нисходящий порядок отработки свиты наклонных пластов с разгрузкой нижних пластов и последовательным расположением отработываемых выемочных столбов по падению пластов свиты с отставанием очистных

работ в нижнем пласте на один-два столба от границы выработанного пространства на верхнем пласте. Такой порядок отработки может обеспечить безопасную отработку всей свиты пластов 78 н.п., 67, 66 и рекомендуется как оптимальный при отработке свиты пластов Увального каменноугольного месторождения Кузбасса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Указания** по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах. — М.: изд-во “Горное дело” ООО “Киммерийский центр”. — 2011. — 216 с. [**Instructions** on the rational location, protection and maintenance of mine workings in coal mines, Moscow, Publishing house “Mining business” LLC “Cimmerian center”, 2011, 216 pp.]
2. **Серяков В. М.** Обоснование геомеханических параметров разработки свиты пологих пластов // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. — 2017. — С. 47–51. [**Seryakov V. M.** Substantiation of geomechanical parameters for the development of a suite of gentle layers, Science-intensive technologies for the development and use of mineral resources, 2017, pp. 47–51.]
3. **Черняев В. И.** Рациональное ведение горных работ при выемке свит угольных пластов: обзор ЦНИЭИуголь, Вып. 11. — М., 1985. — 60 с. [**Chernyaev V. I.** Rational mining operations during the excavation of suites of coal seams: a review of TsNIEIugol, issue 11, Moscow, 1985, 60 pp.]
4. **Рева В. Н., Мельников О. И., Райский В. В.** Поддержание горных выработок. — М.: Недра, 1995. — 270 с. [**Reva V. N., Melnikov O. I., and Raisky V. V.** Maintenance of mine workings, Moscow, Nedra, 1995, 270 pp.]
5. **Красильников Б. В., Егоров П. В., Калинин С. И., Замышляев В. Н.** Разработка весьма сближенных пластов на шахтах Кузбасса. — Прокопьевск: КузНИУИ, 1992. — 286 с. [**Krasilnikov B. V., Egorov P. V., Kalinin S. I., and Zamyshlyayev V. N.** Development of very contiguous seams in the mines of Kuzbass, Prokopyevsk, Kuznetsk Research Coal Institute, 1992, 286 pp.]
6. **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 СибГИУ. – Фед. служба по интелект. собств. Дата регистр. 30 июля 2020. [**Certificate** of registration of the computer program no. 2020618595. Software package for modeling geomechanical processes in a structurally heterogeneous geomassif under the mutual influence of a system of underground mine workings / V. N. Fryanov, L. D. Pavlova, A. B. Tsvetkov; FGBOU VO Siberian State Industrial University, Federal Service for Intellectual Property, Registration date July 30, 2020.]