

На правах рукописи



Исаченко Алексей Александрович

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ
УПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ
ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ
ВЕСЬМА СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

Специальность:

25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная
аэрогазодинамика и горная теплофизика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово –2018

Работа выполнена на кафедре «Геотехнология» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

- Научный руководитель: Петрова Татьяна Викторовна, кандидат технических наук, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры менеджмента и отраслевой экономики ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
- Официальные оппоненты: Казанин Олег Иванович, доктор технических наук, декан горного факультета Санкт-Петербургского Горного Университета
- Пириева Наталья Николаевна, кандидат технических наук, начальник отдела перспективного развития АО «СУЭК-Кузбасс».
- Ведущая организация: Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук

Защита диссертации состоится 06 декабря 2018 г. в 13:00 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.102.02 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, факс (384-2) 59-69-60, e-mail:rector@kuzstu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва» и на сайте организации по адресу <http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Soresearchers/2018/usa/Dissertation.pdf>.

Автореферат разослан 29 октября 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



В.В. Иванов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Доля балансовых запасов угля в весьма сближенных пластах только на месторождениях Кузбасса составляет 15-20%, что подтверждает актуальность геомеханического обоснования способов управления горным давлением при подземной разработке этих пластов.

Изменчивость элементов залегания свиты угольных пластов, в том числе мощности пород между пластами в свите весьма сближенных угольных пластов существенно влияет на планировку горных выработок, форму и размер выемочных столбов. Геомеханические параметры выемочных участков, способы охраны и поддержания горных выработок существенно отличаются от оптимальных рекомендуемых параметров рекомендуемыми нормами технологического проектирования.

Институтами ВНИМИ и ВНИИ гидроуголь проводились шахтные эксперименты при отработке весьма сближенных угольных пластов с выявлением деформации пород в окрестностях выемочных выработок. Анализ выполненных работ указывает на необходимость учета влияния сближенности угольных пластов на геомеханическое состояние горных выработок на этапе проектирования угольных предприятий.

С целью уточнения геомеханического состояния в окрестностях горных выработок в условиях отработки угольного пласта, в свите весьма сближенных угольных пластов, необходимо выявить закономерности динамики напряженно-деформированного состояния углепородной толщи при различных вариантах отработки сближенных пластов.

Изучению влияния взаимодействующих технологических и геомеханических процессов на сохранность выработок в эксплуатационном состоянии, в том числе на весьма сближенных пластах, посвящены работы ведущих научно-исследовательских организаций и вузов. Результаты этих исследований включены в действующие нормативные документы и широко применяются в горной практике. Однако принятые с использованием этих результатов и документов проектные решения не обеспечивают технико-экономические показатели очистных и подготовительных забоев, соответствующие техническим возможностям современного горношахтного оборудования, способного обеспечить добычу угля до 3 млн. т в год из очистного забоя.

По результатам анализа работ предшественников и опыта работы угольных шахт выявлены следующие основные причины негативного влияния сближенных пластов на эффективность и безопасность их отработки: пучение пород почвы выработок верхнего пласта (до 70% высоты выработки), обрушение пород кровли надработанного пласта при нисходящем порядке отработки свиты пластов (вывалы пород кровли до 100% мощности пород между пластами), слияние зон разрушения угольных целиков соседних пластов, низкая эффективность способов (не более 50%) профилактики пучения пород почвы, прорывы метана в выработки отрабатываемого пласта из соседних пластов при зависании и обрушении пород основной кровли, самовозгорание угля, динамическое разрушение угольных целиков при наложении

опорного горного давления на соседних пластах, разрушение пород кровли и почвы передовых выработок при пересечении их очистным забоем и др.

Таким образом, геомеханическое обоснование способов управления горным давлением при подземной разработке весьма сближенных угольных пластов является актуальной научно-практической задачей.

Цель работы – выявление закономерностей и зависимостей распределения геомеханических параметров выемочного участка для обоснования способов управления горным давлением при подготовке и отработке весьма сближенных угольных пластов.

Основная идея работы состоит в использовании выявленных закономерностей и зависимостей деформирования и предразрушения массива горных пород в окрестности взаимовлияющих очистных и подготовительных выработок для обеспечения их устойчивости на весьма сближенных пластах.

Задачи исследования:

- установить зависимости смещений пород в поддерживаемых выработках от глубины разработки, расстояния до очистного забоя, мощности и механических свойств пород между весьма сближенными пластами;

- выявить закономерности распределения геомеханических параметров выемочного участка при подготовке и отработке весьма сближенных пластов;

- обосновать размеры устойчивых угольных целиков между очистными и подготовительными выработками при многоштрековой подготовке и отработке весьма сближенных пластов;

- выявить закономерности распределения напряжений, деформаций и зон предразрушения массива горных пород в окрестности пересекаемых очистным забоем выработок для расчёта параметров их крепи.

Методы исследования. Используется комплекс методов, включающий в себя:

- анализ и обобщение отечественного и зарубежного опыта управления геомеханическими процессами при подготовке и отработке весьма сближенных угольных пластов;

- шахтные исследования процессов деформирования пород в окрестности выработок;

- численное многовариантное моделирование напряжённо-деформированного состояния массива горных пород;

- системный анализ и обсуждение результатов исследований для обоснования способов управления горным давлением при подземной разработке весьма сближенных угольных пластов.

Объектом исследования являются геомеханические процессы в массиве горных пород при подготовке и отработке весьма сближенных пластов.

Предметом исследования являются закономерности взаимосвязи геомеханических и технологических процессов в окрестности очистных и подготовительных выработок при подготовке и отработке выемочных участков на весьма сближенных пластах.

Научные положения, защищаемые автором:

- установлено, что зависимости смещений горных пород в окрестности подготовительных выработок обеспечивают прогноз параметров крепи и выбор

способов поддержания выработок: безремонтное состояние горных выработок впереди очистного забоя достигается при расстоянии $s_1 > l$ и мощности пород между сближенными пластами более $h > 2 м$, а параллельной выработки, охраняемой угольным целиком, при многоштрековой подготовке $s_1 > 0,5l$ и $h > 1,5 м$, где s_1 - расстояние от линии очистного забоя до рассматриваемого сечения подготовительной выработки, l – ширина зоны опорного давления, h – мощность пород между сближенными пластами;

– выявлены закономерности распределения геомеханических параметров выемочного участка при подготовке и отработке весьма сближенных пластов обеспечивают выбор рационального пространственного положения системы подготовительных и очистных выработок по следующим критериям: минимальное расстояния между соседними выработками; отношение остаточной прочности угля и пород к исходной в окрестности выработок более 0,7; параметры крепи и упрочнения клеевыми составами соответствуют форме и размерам зон запредельного деформирования пород в окрестности выработок;

– критерием устойчивости угольного целика между очистным выработанным пространством и подготовительной выработкой при многоштрековой подготовке выемочного участка является отношение ширины зоны упругого деформирования угля в целике к его проектной ширине более 0,4;

- выявлена закономерность перераспределения опорного горного давления на сокращаемый угольный целик и краевую часть пласта за пересекаемой выработкой при разной мощности пород междупластья обеспечивает выбор способов управления горным давлением в системе «очистной забой – сокращаемый целик – пересекаемая выработка».

***Научная новизна работы* заключается:**

– в обосновании нелинейной зависимости объёма пучения пород подготовительной выработки верхнего пласта от глубины разработки, мощности пород междупластья вне и в зоне влияния опорного горного давления движущегося очистного забоя на весьма сближенных пластах;

– в выявлении следующих закономерностей напряжённо-деформированного состояния весьма сближенных пластов: слияние зон упруго-пластического деформирования пластов и пород при мощности междупластья меньше 3 м; вектор горизонтальных смещений направлен по линии падения с перемещением вмещающих пород по контактам с кровлей и почвой сближенных пластов; ось симметрии изолиний вертикальных напряжений и смещений независимо от мощности пород между пластами и ширины целика направлена по нормали к напластованию;

– в установлении критерия $K_{уст} \geq 0,4$ устойчивости угольного целика между очистным выработанным пространством и подготовительной выработкой как минимального отношения ширины зоны упругого деформирования угля в целике к его проектной ширине;

- в выявлении закономерностей перераспределения опорного горного давления на сокращаемый угольный целик и краевую часть пласта за пересекаемой выработкой при разной мощности пород междупластья для выбора способов

управления горным давлением в системе «очистной забой – сокращаемый целик – пересекаемая выработка».

Достоверность научных результатов выводов и рекомендаций обеспечивается представительным объёмом шахтных измерений (в течение 2 лет при поддержании штреков общей длиной более 2 км на двух выемочных участках), результатами численного моделирования по сертифицированным компьютерным программам, положительными итогами реализации разработанных технологических решений при подготовке и отработке выемочных столбов в шахтных условиях.

Личный вклад автора заключается в:

- обобщении и анализе отечественного и зарубежного опыта управления горным давлением при подготовке и отработке весьма сближенных пластов;
- проведении шахтных наблюдений процессов деформирования угля и пород в подготовительных выработках сближенных пластов;
- обобщении результатов шахтных измерений и численного моделирования напряжённо-деформированного состояния массива горных пород, выявлении закономерностей распределения геомеханических параметров выемочного участка при подготовке и отработке весьма сближенных пластов;
- реализации в документации по ведению горных работ обоснованных способов управления горным давлением при подземной разработке весьма сближенных угольных пластов.

Научное значение работы состоит в выявлении закономерностей и зависимостей распределения геомеханических параметров для обоснования способов и средств управления горным давлением при проектировании, подготовке и отработке весьма сближенных пластов.

Отличие от ранее выполненных работ заключается в системном подходе к комплексному решению задач управления горным давлением, обеспечивающем предотвращение негативных явлений при отработке весьма сближенных пластов посредством использования выявленных закономерностей и зависимостей взаимосвязанных геомеханических и технологических процессов.

Практическая ценность работы заключается в том, что результаты исследований позволяют:

- использовать выявленные закономерности и зависимости распределения геомеханических параметров для выбора по критериям устойчивости оптимального пространственного расположения подземных горных выработок при отработке весьма сближенных пластов;
- разрабатывать рекомендации и мероприятия по предотвращению пучения почвы выработок;
- устанавливать ширину устойчивых угольных целиков;
- разрабатывать паспорта крепления пересекаемых очистным забоем передовых выработок без остановок горных работ.

Реализация работы. Результаты исследований и научные положения реализованы на действующем горнодобывающем предприятии в виде следующих рекомендаций и способов управления горным давлением при подземной разработке весьма сближенных угольных пластов: безремонтное поддержание

подготовительных выработок с использованием размеров устойчивых угольных целиков; снижение пучения пород почвы в горных выработках посредством рационального расположения относительно очистного выработанного пространства. «Методика обоснования параметров выемочного участка при отработке сближенных угольных пластов», 2016 г. используется в СибГИУ для подготовки аспирантов по направлению 21.06.01.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на Международном научном симпозиуме «Неделя горняка», Москва, МИСиС, 2015 г.; Технических советах горнодобывающей шахты 2013-2016 гг.; конференции «Сибресурс», Кемерово, КузГТУ, 2016-2017 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, изложена на 133 страницах машинописного текста и содержит 57 рисунков, 8 таблиц и список литературы из 102 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе описывается состояние изученности достижений горной науки и осуществляется обобщение производственного опыта подземной разработки и управления геомеханическими процессами при отработке свиты весьма сближенных пластов.

Большой вклад в разработку и реализацию методов и средств обеспечения устойчивости подготовительных выработок внесли ведущие учёные: С.Г. Авершин, Н.П. Бажин, А.А. Борисов, Н.С. Булычёв, П.В. Егоров, Ю.З. Заславский, Иванов В.В., О.И. Казанин, С.И. Калинин, Г.Н. Кузнецов, В.В. Першин, И.М. Петухов, А.А. Ренёв, К.В. Руппенейт, Г.Л. Фисенко, Н.В. Черданцев, И.Л. Черняк, Е.И. Шемякин, В.М. Шик, Г.Г. Штумпфи др. За рубежом значительный вклад в решение геомеханических задач угольных шахт внесли M.J. DeMarco, G.M. Molinda, M.D.G. Salamon, A.H. Wilson, O. Jacobii др.

Действующиметодические указания и инструкции расчёта смещений на контуре выработки не в полной мере адаптированы к условиям поддержания выработок на весьма сближенных пластах, обрабатываемых по высокоинтенсивным технологиям при скорости подвигания очистного забоя 200-300 м в месяц и длине лавы более 300 м.

Методы расчёта ширины устойчивых неоднородных целиков, включающих сближенные пласты, не обеспечивают охрану подготовительных выработок, так как не учитывают влияние касательных напряжений и деформаций на контактах сближенных угольных пластов и вмещающих пород.

Исходя из изученных материалов и результатов анализа литературных источников обоснованы цель и задачи исследований.

Во второй главе приведены описание программы и методики исследований смещений пород в поддерживаемых выработках при отработке весьма сближенных угольных пластов, методика определения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной, характеристика горно-геологических и горнотехнических условий проведения эксперимента, шахтные и аналитические исследования смещений пород в поддерживаемых выработках при отработке весьма сближенных угольных пластов, установлены зависимости смещений пород в поддерживаемых выработках от глубины разработки, расстояния до очистного забоя, мощности и механических свойств пород между весьма сближенными пластами.

Разработана последовательность расчёта параметров напряжённо-деформированного состояния углепородного массива (НДС) в окрестности поддерживаемых подземных выработок (рис. 1). Отличие разработанного алгоритма от традиционных состоит в возможности прогноза смещений горных пород на основе синтезе метода численного моделирования, результатов шахтных измерений и методических рекомендаций.

При выполнении условия в блоке 7 рис. 1 управление в программе передаётся в блок для решения конкретной задачи по прогнозу напряжённо-деформированного состояния горного массива. Фрагменты настройки программы расчёта вертикальных смещений пород в окрестности вентиляционного штрека 2-6 по типовым смещениям ВНИМИ приведены на рис. 2.

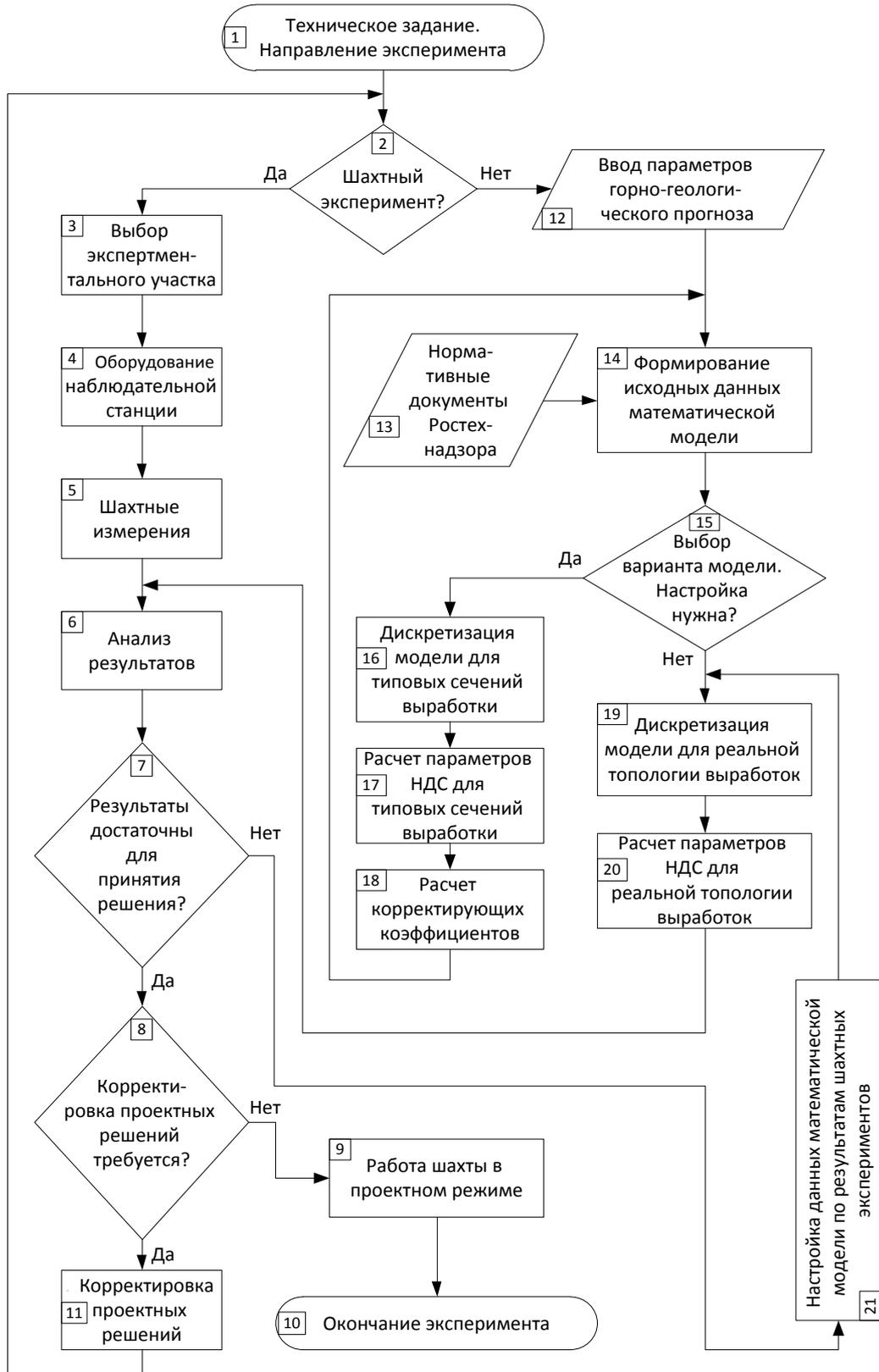


Рис. 1 Схема проведения шахтных и численных исследований закономерностей распределения смещений пород в поддерживаемых выработках при отработке весьма сближенных угольных пластов

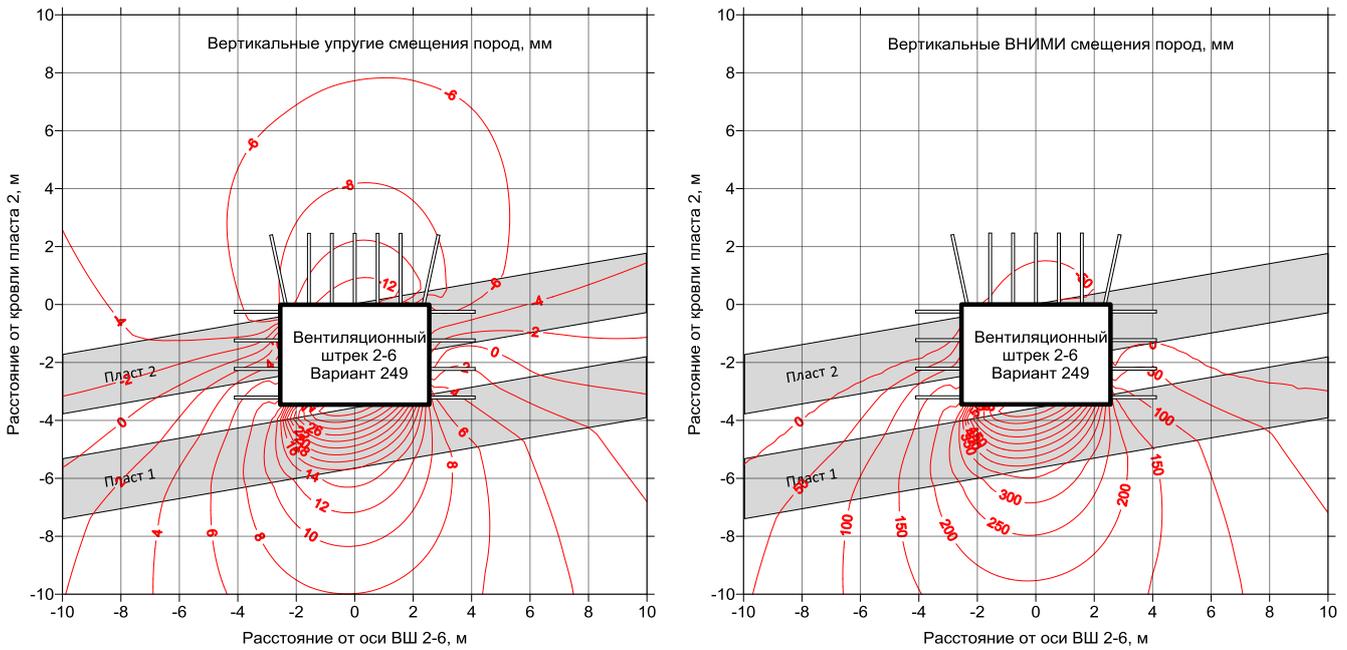


Рис. 2. Изолинии распределения вертикальных смещений (мм) при упругом деформировании пород (а) и после настройки по типовым смещениям ВНИМИ (б)

Для определения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной при сложном напряжённо-деформированном состоянии по известным прочностным характеристикам угля и пород и вычисленных методом конечных элементов напряжений и деформаций массива горных пород используется диаграмма «напряжения-деформация». Общий вид диаграммы деформирования угля или пород принят согласно результатам исследований КузГТУ и ВНИМИ с выделением на рис. 3 следующих участков: упругого деформирования O-C, упруго-пластического предразрушения C-D, предельного D и запредельного состояния D-H. При упругом деформировании угля без учёта процессов механодеструкции угля график деформирования соответствует линии O – G.

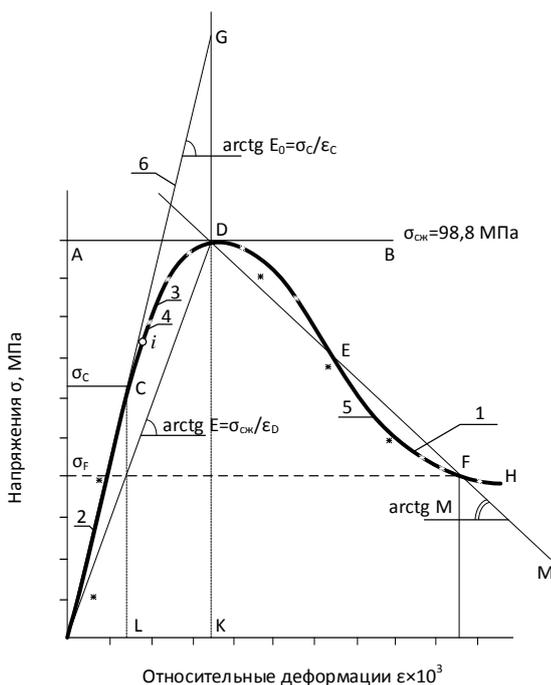


Рис. 3. Диаграмма напряжения-деформация при испытании песчаника в лабораторных условиях

В процессе вычислительных экспериментов по алгоритму, приведённому на рис. 1, в блоке 21 корректировка исходных деформационных и прочностных характеристик угля и пород проводилась с использованием отношения остаточной прочности угля или пород к их исходной прочности $K_{оп}$, то есть:

$$\sigma_{сж}^{ост} = \sigma_{сж} K_{оп}.$$

В общем виде отношение остаточной прочности угля или пород к их исходной прочности при наличии полной диаграммы напряжения-деформации предлагается определять по формуле

$$K_{оп} = \sigma_{экс} / \sigma_{мкэ},$$

где $K_{оп}$ – отношение остаточной прочности угля или пород к их исходной прочности;

$\sigma_{экс}$ – нормальные напряжения по диаграмме напряжения-деформации (рис. 3);

$\sigma_{мкэ}$ – нормальные вертикальные напряжения, вычисленные методом конечных элементов, по модели упругого деформирования угля или пород (линия O-G на рис. 3).

Для оценки адекватности расчётных и вычисленных величин смещений горных пород в окрестности выработок на сближенных пластах проведены натурные измерения конвергенции кровли и почвы подготовительных выработок общей длиной более 2 км. Экспериментальный участок выбран в пределах Ерунаковского месторождения Кузбасса при отработке пологого пласта 2 мощностью 2,06-2,41 м и надработке весьма сближенного пласта 1 мощностью 1,70-2,23 м. Междупластье на экспериментальном участке изменяется в пределах 0,5 - 15,0 м, глубина разработки 450-500 м. На горном предприятии применяется двухштрековая подготовка выемочных участков спаренными забоями с формированием угольного целика между штреками. Отработка выемочного участка 2-4 производится системой разработки длинными столбами по простиранию с полным обрушением пород кровли (ДСО).

Проводились измерения конвергенции кровли и почвы вентиляционного штрека 2-5, который охранялся угольным целиком шириной 30 м. Установлено, что основные деформации происходят при пучении пород в зоне влияния нижнего надрабатываемого пласта (рис. 4).

По результатам всех шахтных измерений в двух вентиляционных штреках общей протяжённостью более 2 км изучено влияние на пучение пород почвы следующих факторов: мощности и прочности пород между весьма сближенными пластами; геологических нарушений; количества штреков, оконтуривающих выемочный столб; глубины разработки в пределах 400-600 м; расстояния от линии очистного забоя до наблюдательной станции; ширины угольного целика между очистным выработанным пространством и охраняемым вентиляционным штреком.

На рис. 5 в качестве примера представлены результаты шахтных измерений конвергенции кровли и почвы вентиляционного штрека 2-4.

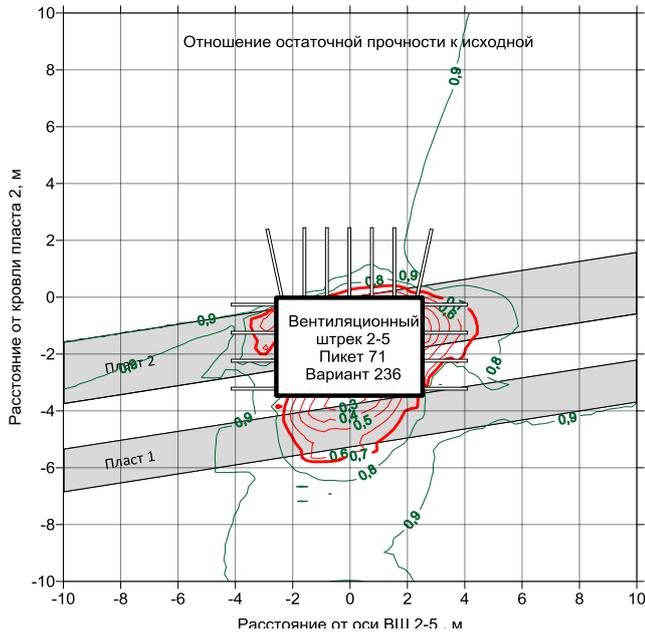


Рис. 4. Изолинии распределения отношения остаточной прочности к исходной ($K_{оп}$) в окрестности вентиляционного штрека 2-5 при мощности пород между пластами 1,6 м. Скважина №16589, пикет 71. В исходном файле смещения в почве приняты по результатам шахтных измерений, 605 мм, смещения в кровле рассчитаны по Инструкции ВНИМИ, смещения в боках рассчитаны пропорционально упругим смещениям

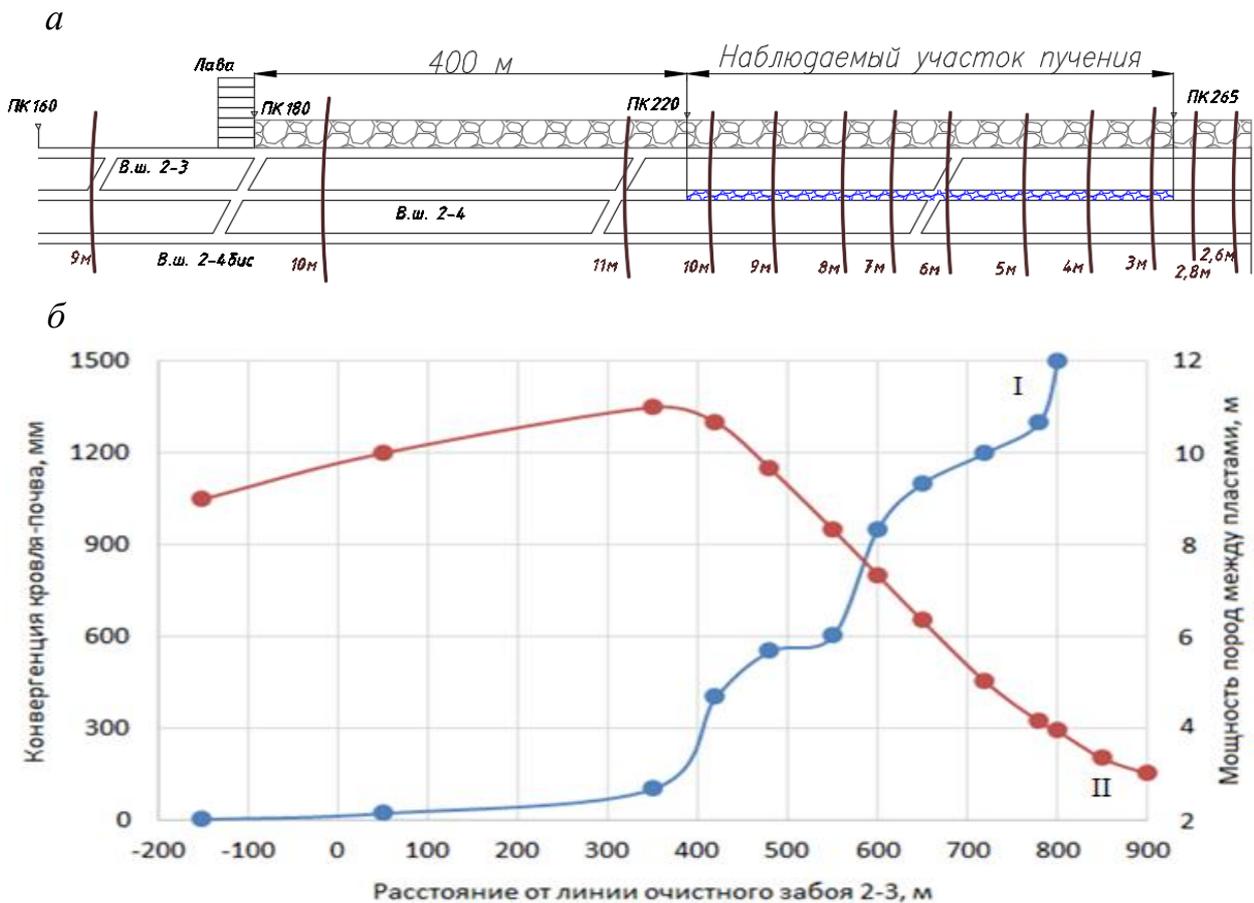


Рис. 5. Выкопировка с плана горных работ (а) и графики изменения конвергенции кровля-почва вентиляционного штрека 2-4 (I) и мощности пород между пластами 2 и 1 (II) (б)

Установлено, что в зонах дизъюнктивных нарушений вследствие снижения прочности и интенсификации деформаций пород отношение фактической площади поперечного сечения к проектной площади изменяется в 1,7-2,0 раза по сравнению с соответствующими отношениями площадей поперечных сечений вне зоны геологических нарушений.

Установлено, что при оконтуривании выемочного столба 2-5 одним вентиляционным штреком отношение площади разрушенных пород в поперечном сечении штрека к проектной площади увеличивается в 0,7-1,1 раза по сравнению с многоштрековой подготовкой выемочных столбов 2-3 и 2-4 двумя вентиляционными штреками.

Установлено (рис. 6), что увеличение глубины разработки (Н), при прочих равных условиях, приводит к усилению конвергенции кровли-почвы и боков штреков, однако влияние этого фактора в пределах Н=400-600 м на устойчивость выработок незначительное по сравнению с влиянием изменчивости мощности и прочности пород между весьма сближенными пластами.

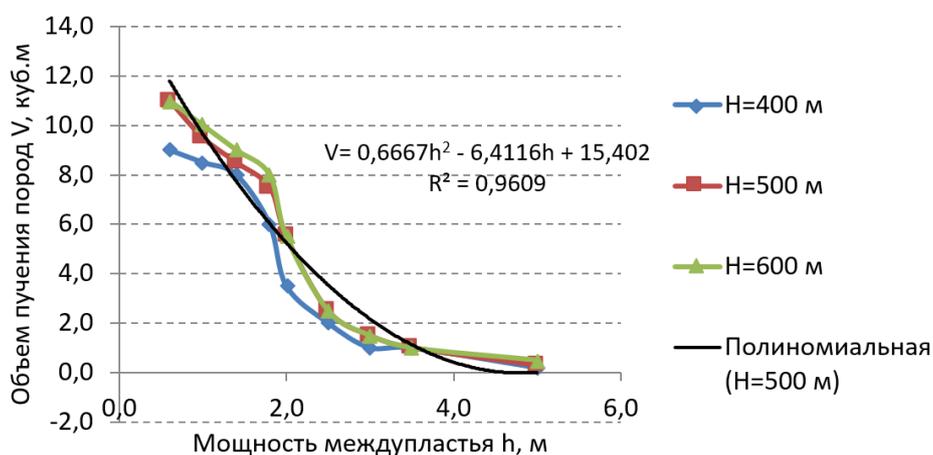


Рис.6. Графики зависимости объёма пучения пород (V) от мощности пород между весьма сближенными пластами (h), Н – глубина разработки, м

Для количественной оценки пучения пород почвы вентиляционных штреков, находящихся в зоне опорного давления выемочных участков, от расстояния наблюдательной станции до очистного забоя и мощности пород между пластами проводились в течение двух лет комплексные натурные исследования, фрагменты результатов которых представлены на рис. 7.

Уравнение множественной зависимости пучения пород почвы при мощности междупластья 1,38-2,2 м от указанных факторов на рис. 7 имеет следующий вид:

$$\hat{s} = -12,46 + 0,93 \times h + 0,032 \times l_{л-зс},$$

где \hat{s} – расчетное пучение почвы, см;

h – мощность пород междупластья, м;

$l_{л-зс}$ – расстояние от лавы до замерной станции, м.

Данное уравнение справедливо при ограничениях: $1,38 < h < 2,2$ м; $530 < l_{л-зс} < 1560$ м.

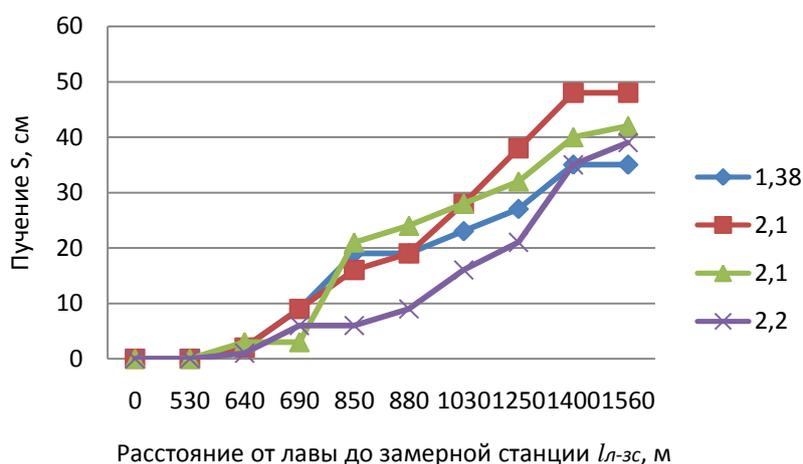


Рис. 7. Вспучивание пород почвы вентиляционного штрека 2-5 при различной мощности между пластами 2 и 1

На основе анализа результатов исследований установлено следующее:

- алгоритм моделирования напряжённо-деформированного состояния углепородного массива с настройкой входных параметров модели по результатам натуральных измерений или рекомендаций нормативных документов обеспечивает соответствие расчётных и измеренных смещений пород в поддерживаемых выработках в пределах $\pm 8\%$;

- безремонтное состояние горных выработок впереди очистного забоя обеспечивается при расстоянии $s_1 > l$ и мощности пород между сближенными пластами более $h > 2$ м, а параллельной выработки, охраняемой угольным целиком при многострековой подготовке $s_1 > 0,5l$ и $h > 1,5$ м, где s_1 – расстояние от линии очистного забоя до рассматриваемого сечения подготовительной выработки, l – ширина зоны опорного давления.

В третьей главе выявлены закономерности распределения напряжений, смещений и отношения остаточной прочности угля и пород к исходной, обоснованы геомеханические параметры, обеспечивающие устойчивость подготовительных выработок в эксплуатационном состоянии при подготовке и отработке выемочных столбов с учётом влияния очистного выработанного пространства и мощности пород между весьма сближенными угольными пластами.

Программа исследований включала формирование вариантов вычислительного эксперимента, отличающихся шириной целика в пределах 20-40 м, мощностью пород между пластами 1,4-5,0 м. Результаты моделирования представлены в виде графиков и таблиц, включающих следующие параметры: отношение остаточной прочности к исходной $K_{оп}$, вертикальные W и горизонтальные V смещения (мм), вертикальные σ_z и горизонтальные напряжения σ_x (МПа), время эксплуатации выработки. Всего проведено моделирование 50 вариантов, результаты моделирования одного из которых представлены на рис. 8.

По результатам анализа результатов моделирования зон разрушения угля и пород в окрестности вентиляционного штрека установлены зависимости, приведённые на рис. 9.

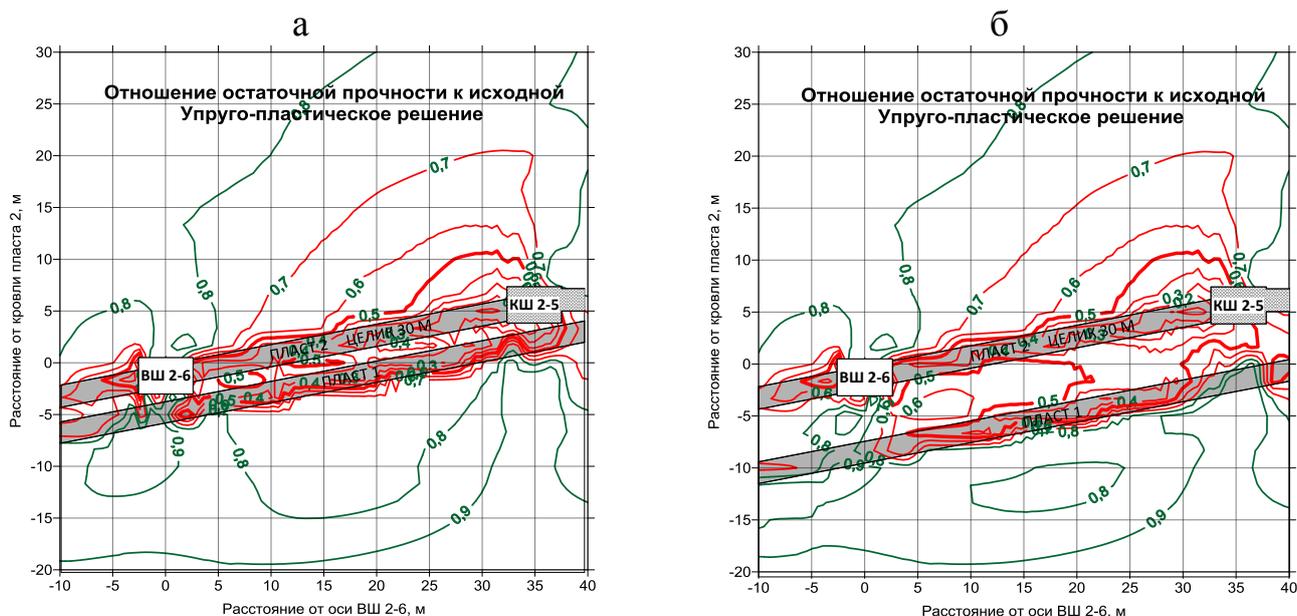


Рис. 8. Изолинии распределения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной прочности при охране вентиляционного штрека 2-6 целиком шириной 30 м и мощностью пород между пластами: а – 1,4 м; б – 5 м, время эксплуатации выработки 2 месяца

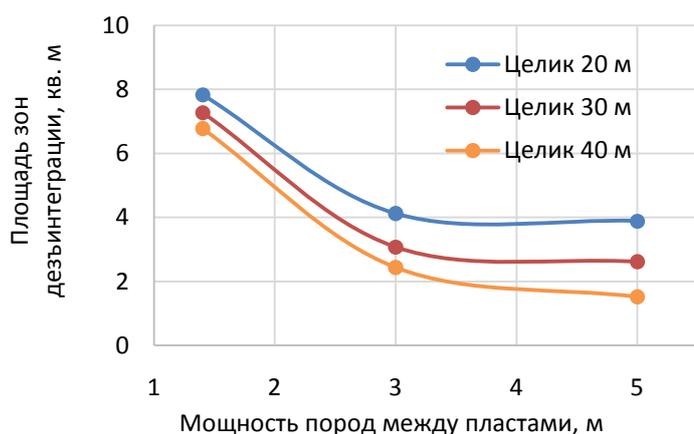


Рис. 9. Графики изменения площади зон упруго-пластического и запредельного состояния угля и пород в окрестности вентиляционного штрека 2-6

Для выявления закономерностей распределения нормальных напряжений в углепородном массиве проведено моделирование девяти вариантов размеров угольного целика между вентиляционным штреком 2-6 и изменении мощности пород между пластами от 1,4-5,0 м в пределах выемочного участка 2-5 (рис. 10).

По результатам анализа изолиний распределения вертикальных напряжений установлено:

- в породах кровли верхнего пласта горизонтальные напряжения сжимающие, а в породах почвы преобладают напряжения растяжения;
- наиболее высокий риск возникновения газодинамических явлений следует ожидать в надрабатываемом пласте, где выявлены большие вертикальные напряжения сжатия и горизонтальные напряжения растяжения;
- влияние целика-штампа на верхнем отработываемом пласте распространяется на расстояние 5-10 м ниже надрабатываемого пласта.

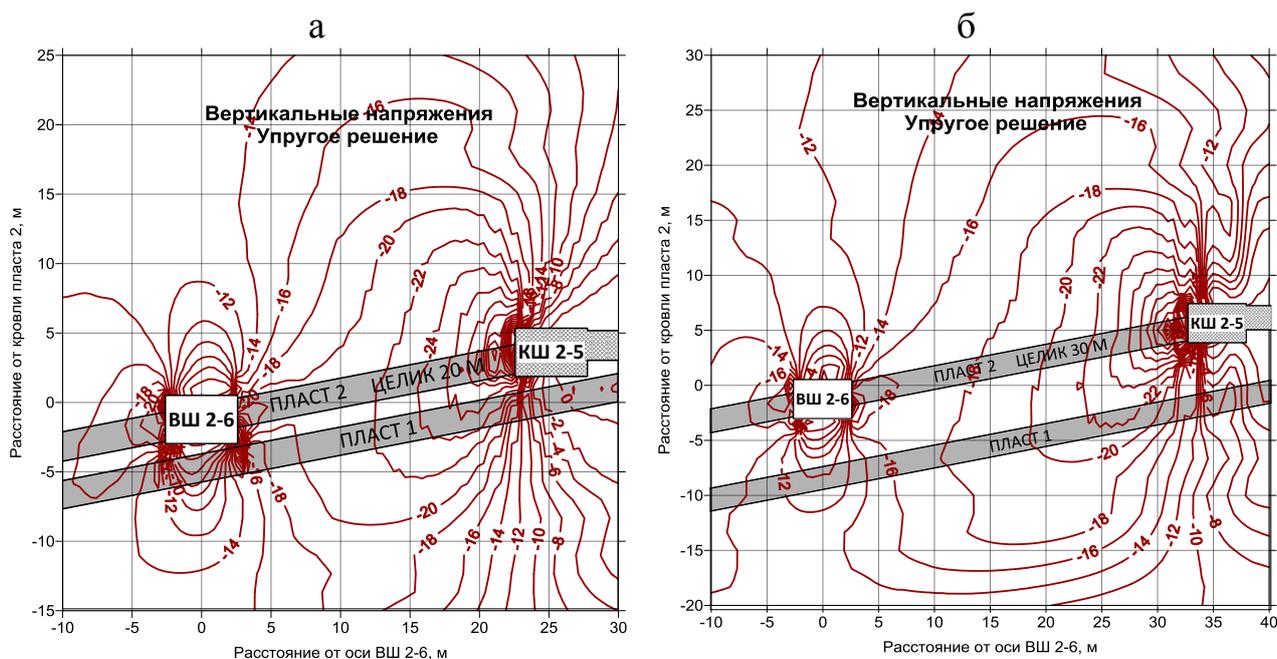


Рис. 10. Изолинии распределения вертикальных напряжений (МПа):
 а – ширина целика 20 м, мощность пород между пластами 1,4 м; б – ширина целика 30 м, мощность пород между пластами 5 м

В четвертой главе изучено напряжённо-деформированное состояние массива горных пород в окрестности очистных и подготовительных выработок при разной ширине неоднородных угольных целиков на весьма сближенных пластах.

По результатам численного моделирования с предварительной настройкой входных параметров модели по результатам шахтных измерений смещений глубинных реперов в уклонах на пластах 2 и 1 определены параметры полного вектора напряжений, деформаций и смещений, а также отношение остаточной прочности пород к исходной. Границы зон разрушения пород в окрестности выработок приведены на рис. 11, из которого следует, что размеры зон разрушения существенно зависят от пространственного положения выработок и сближенных пластов, однако взаимное наложение зон разрушения соседних выработок не происходит, и их эксплуатационная устойчивость обеспечивается, что подтвердилось на практике. Максимальные коэффициенты концентрации напряжений $K=1,6 - 1,9$ установлены в боках крайних выработок.

Для обоснования способов и средств предотвращения пучения пород почвы выемочных штреков для отработки свиты весьма сближенных угольных пластов проведены исследования НДС геомассива при различных сочетаниях пространственного положения штреков, очистных забоев, угольных целиков, разгрузочных щелей и полостей с учётом пространственной изменчивости мощности и свойств пород между пластами 1 и 2. По результатам исследований обоснованы размеры устойчивых угольных целиков между выемочными столбами (рис.12).

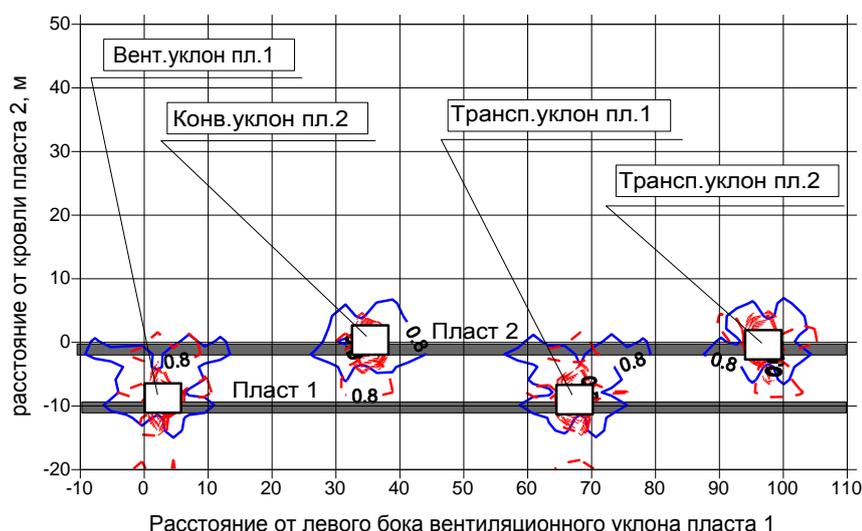


Рис. 11. Зоны разрушения пород в окрестности уклонов, коэффициент бокового давления $\lambda=1$

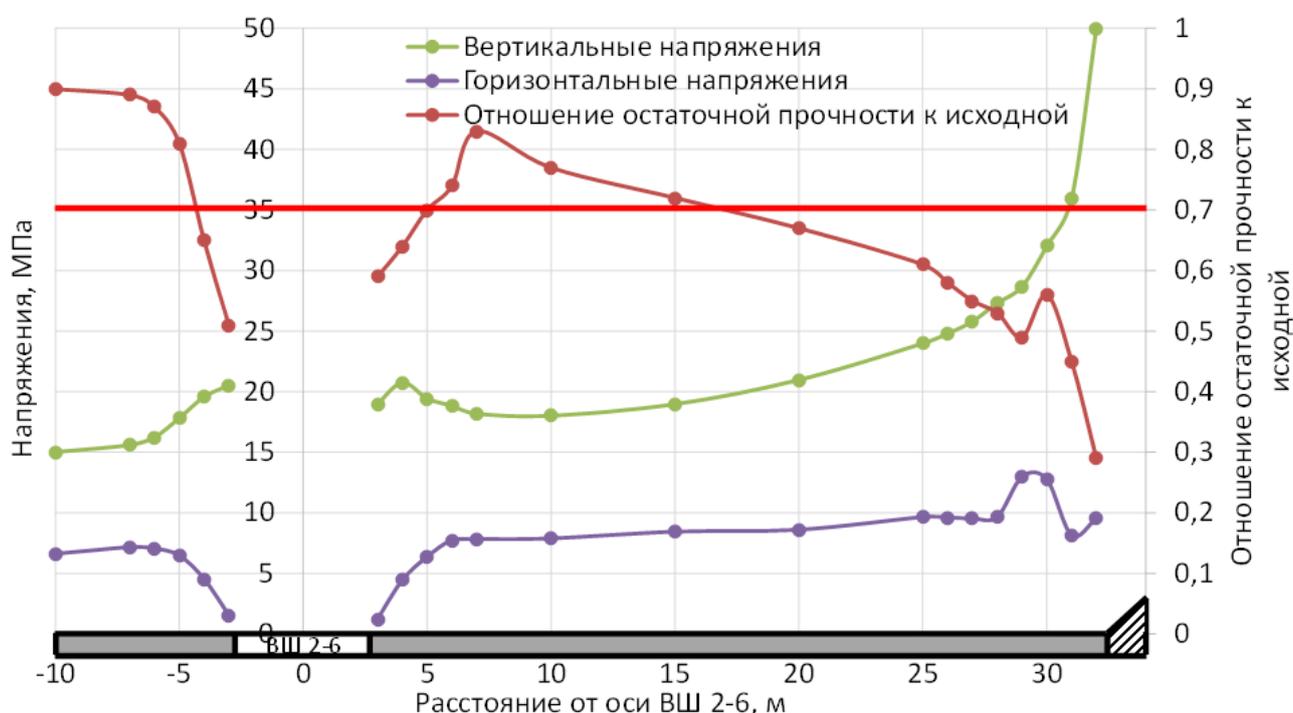


Рис. 12. Графики распределения вертикальных и горизонтальных напряжений сжатия в угольном целике шириной 30 м и в окрестности вентиляционного штрека 2-6, глубина разработки 500 м

Как следует из графиков рис. 12, эпюра сжимающих вертикальных напряжений характеризуется наличием седлообразной зоны на расстоянии 5-17 м от штрека, что свидетельствует об устойчивом состоянии угольного целика.

Для оценки устойчивости целика принят следующий критерий состояния угля: отношение остаточной прочности к исходной $K_{оп}=0,7$ соответствуют условиям перехода угля в упруго-пластическое блочное состояние, а при $K_{оп} \leq 0,5$ происходит разрушение угля. Целик принимается устойчивым, если отношение ширины зоны упругого деформирования угля в целике к его проектной ширине превышает 0,4, то есть $K_{уст} = \frac{l_{уп}}{b} \geq 0,4$, где $K_{уст}$ – коэффициент устойчивости

целика; $l_{уп}$ – длина участка упругого деформирования угля в пределах целика, м; b – ширина целика, м.

На основе анализа графиков распределения напряжений и состояния угля в целиках, рекомендуется для условий пласта 2 принимать ширину целика равной 30 м.

Для оценки НДС угля и пород окрестности диагональной выработки и очистного забоя проведены шахтные и аналитические исследования. Установлено, что основными факторами, влияющими на устойчивость угольного пласта и вмещающих пород в окрестности комплексной геотехнологической системы «диагональная выработка – очистной забой», являются мощность пород между весьма сближенными пластами и ширина сокращаемого угольного целика между пересекаемой выработкой и лавой.

При исследовании ширина угольного целика между очистным забоем и передовой выработкой сокращалась в пределах 10-1,0 м, а мощность пород между весьма сближенными пластами варьировалась в интервале 1,4-5,0 м. Глубина разработки принята равной 500 м. Всего было рассмотрено 38 вариантов различного расположения диагональной выработки, очистного забоя и мощности пород между пластами.

На рис. 13 представлены изолинии распределения вертикальных напряжений в окрестности пересекаемой выработки и очистного забоя при ширине сокращаемого целика 10 м и переменной мощности пород между пластами.

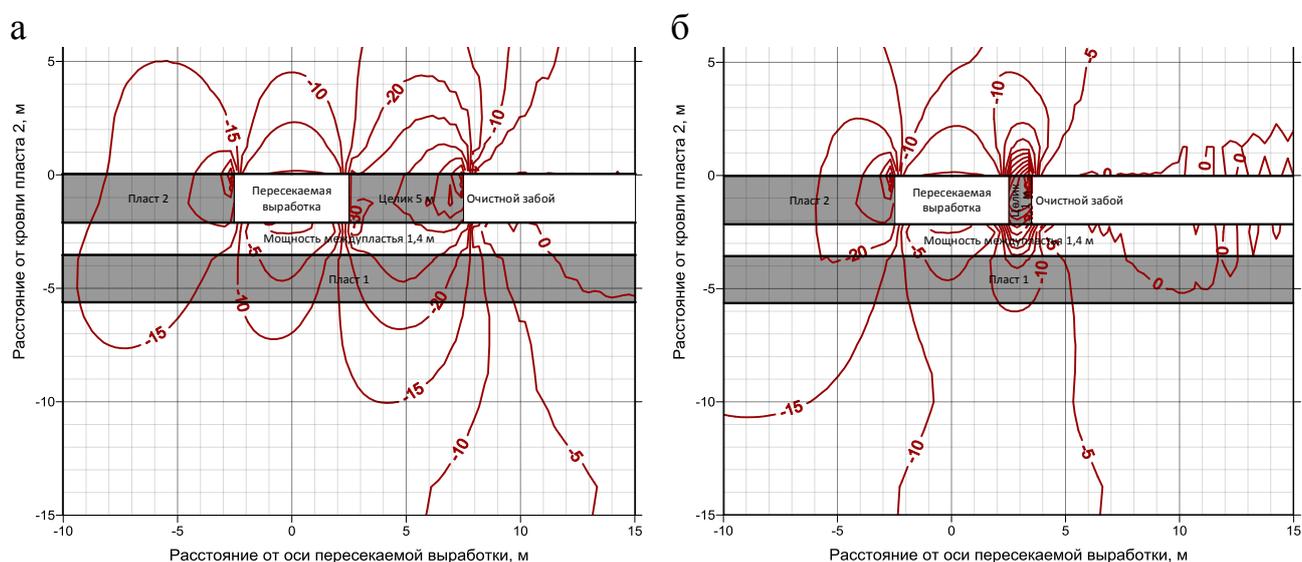


Рис. 13. Графики изменения вертикальных напряжений в окрестности пересекаемой выработки и очистного забоя при мощности пород между пластами 1,4 м и ширине сокращаемого целика а – 5 м; б – 1,0 м

Для оценки влияния мощности пород между пластами на устойчивость сокращаемого угольного целика предлагается использовать следующую зависимость:

$$K_B = 1,2 + \left(0,3 \frac{R_{с.п.}}{R_{п.}} + 2,7\right) e^{-ab_{ц}},$$

где K_B – коэффициент концентрации вертикальных напряжений в угольном целике на границе с боком пересекаемой выработки;

$b_{ц}$ – ширина сокращаемого угольного целика, м; $R_{с.п.}$ – расчётное сопротивление пород при сжатии почвы отработываемого пласта, с учётом сопротивления пород между сближенными пластами, угля и пород почвы сближенного надрбатываемого пласта;

$R_{п.}$ – расчётное сопротивление при сжатии пород между сближенными пластами;

a – эмпирический коэффициент. Для данных условий при глубине разработки 500 м коэффициент $a=0,11\text{м}^{-1}$.

Согласно рис. 13 угольный целик между очистным забоем и пересекаемой выработкой будет разрушен при мощности пород между пластами меньше 5 м. Разработаны мероприятия по упрочнению угля в целике, включающие закладку выработки в два этапа: частичная закладка на 70-80 % поперечного сечения горной массой от поддирки штреков и заполнение пустот пучающимися породами при приближении очистного забоя (рис. 14).

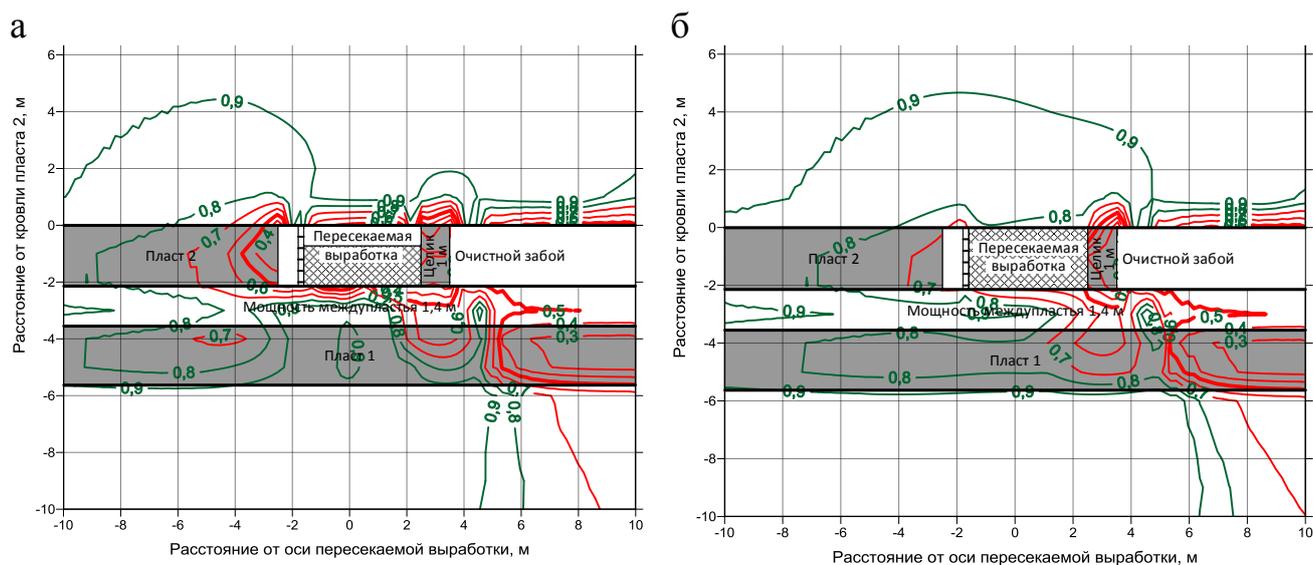


Рис. 14. Графики изменения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной в окрестности пересекаемой выработки и очистного забоя при ширине сокращаемого целика 1 м и мощности пород между пластами: а - при частичной закладке выработки; б – после уплотнения частичной закладки пучающимися породами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных исследований решена актуальная научная задача обоснования способов управления горным давлением при подземной разработке весьма

сближенных угольных пластов, имеющая существенное значение для развития горнодобывающей отрасли.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации заключаются в следующем:

1. Разработан алгоритм моделирования напряжённо-деформированного состояния угленосного массива с настройкой входных параметров модели по результатам натурных измерений или рекомендаций нормативных документов ВНИМИ. Адекватность модели и реального горного массива подтверждена соответствием вычисленных и измеренных смещений пород на контуре выработки в пределах $\pm 8-14\%$.

2. Установлена область безремонтного состояния горных выработок впереди очистного забоя на весьма сближенных пластах: расстояние от линии очистного забоя до рассматриваемого сечения подготовительной выработки $s_1 > l$ и мощность пород между сближенными пластами $h > 2$ м, где l - ширина зоны опорного давления. При охране выработки угольным целиком при многострековой подготовке должны соблюдаться следующие соотношения: $s_1 > 0,5l$ и $h > 1,5$ м.

3. Выявлены нелинейные зависимости объёма пучения пород подготовительной выработки верхнего пласта от глубины разработки, мощности пород междупластья вне и в зоне опорного горного давления движущегося очистного забоя на весьма сближенных пластах. Область применения зависимостей: $1,38 < h < 3,1$ м; $530 < s_1 < 1560$ м.

4. Выявлено существенное влияние на устойчивость пород в окрестности системы параллельных выработок на сближенных пластах при переменной мощности пород между пластами, которая влияет на геомеханические параметры выработок следующим образом: отношение коэффициентов концентрации вертикальных напряжений в боках крайних выработок $K_{кр}$ и средних $K_{ср}$, то есть $K_{кр} / K_{ср}$, изменяется в пределах 1,05-1,2, а площадь зоны разрушения пород в окрестности выработок по нижнему пласту почти в два раза больше соответствующей зоны у выработок верхнего пласта.

5. При проведении наклонных сбоек между параллельными выработками нижнего и верхнего сближенных пластов выявлена наиболее опасная геомеханическая ситуация на сопряжении сбойки с выработками на верхнем пласте. Разработаны рекомендации для предотвращения разрушений пород на этом участке.

6. Обоснован критерий устойчивости угольного целика между очистным выработанным пространством и подготовительной выработкой при многострековой подготовке выемочного участка как отношение ширины зоны упругого деформирования угля в целике к его проектной ширине более 0,4.

7. Установлены при глубине разработки 500 м следующие геомеханические параметры массива горных пород в окрестности очистного забоя и пересекаемых передовых выработок:

-угольный целик шириной больше $5m$, где m – вынимаемая мощность пласта, при мощности пород между пластами 5 м находится в устойчивом состоянии, впереди очистного забоя и в боках пересекаемой выработки возможно

формирование зоны повышенной трещиноватости угольного массива шириной до 2,5 м и отжима угля;

- при длительных остановках очистного забоя угольный целик шириной 5 м за счёт развития упруго-пластических деформаций и перехода угля и пород в запредельное состояние почти полностью разрушается, по контактам кровли и почвы отработываемого пласта происходит выдавливание угольного целика в сторону очистного забоя и пересекаемой выработки до 80 мм;

- при ширине угольного целика между пересекаемой выработкой и очистным забоем меньше 5 м и мощности пород между пластами меньше 2 м происходит разрушение угольного целика, угольного пласта надрабатываемого пласта, устойчивость пересекаемой выработки не обеспечивается.

8. Для обеспечения устойчивости пересекаемой очистным забоем диагональной выработки при мощности пород между сближенными пластами меньше 2 м предлагается применение технологической схемы, которая включает предварительную неполную закладку выработки вне зоны опорного горного давления с последующим уплотнением закладочного материала пучащими породами выработки в зоне влияния очистного забоя.

9. Реализованы в шахтных условиях следующие разработанные способы управления горным давлением: по предотвращению пучения почвы в горных выработках; по безопасным методам ведения работ очистного забоя в условиях пучения почвы нижележащего вентиляционного штрека; технологические решения по частичной закладке выработок породами. Результаты внедрения подтверждены справкой филиала «Шахта «Ерунаковская-VIII» ОАО «ОУК «Южжубассуголь»».

10. Экономический эффект от внедрения результатов исследований составляет 1135 млн рублей при подготовке и отработке одного выемочного участка в рассматриваемых условиях.

Основные результаты исследований используются в Сибирском государственном индустриальном университете для подготовки аспирантов по направлению 21.06.01.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

В изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Исаченко А.А. Оценка геомеханического состояния углепородного массива в окрестности уклонов сближенных угольных пластов с использованием численного моделирования методом конечных элементов / А.А. Исаченко, С.В. Риб, В.А. Волошин, В.Н. Фрянов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 1. С. 294-302.

2. Исаченко А.А. Влияние изменчивости природных свойств углепородного массива на геомеханические параметры горных выработок угольных шахт / А.А. Исаченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во МГГУ. 2016. № 3. С. 269-180.

3. Исаченко А.А. Идентификация параметров признаков изменчивости геомассива по уровню добычи и промышленной безопасности выемочных участков угольных шахт / А.А. Исаченко, В.Н. Фрянов, А.А. Петров // Вестник Забайкальского государственного университета. 2016. Т. 22. № 9. С. 4-14.

В прочих изданиях и материалах конференций:

4. Исаченко, А. А. Анализ влияния изменчивости горно-геологических и горнотехнических параметров на форму и размеры блоков, панелей и выемочных столбов в пределах шахтных полей / А.А. Исаченко, О.А. Петрова // Вестник СибГИУ. – 2016. – № 3. – С. 15-18.

5. Исаченко, А. А. Моделирование с учетом производственного опыта вариантов подготовки выемочных участков при разработке весьма сближенных угольных пластов / А.А. Исаченко, А.А. Петров, О.А. Петрова, С.В. Риб // Рациональное освоение недр. – 2016. - № 4. – С. 32-37.

6. Исаченко, А. А. Обоснование по результатам численного моделирования параметров крепи сбоек капитальных выработок, пройденных в неоднородном углепородном массиве / А.А. Исаченко, А.А. Петров // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 1. С 39-43.

7. Исаченко, А. А. Прогнозирование пучения горных пород в окрестности подготовительных выработок при отработке весьма сближенных угольных пластов / В.А. Волошин, С.В. Риб, А.А. Исаченко // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т. Новокузнецк, 2015.– С. 129-132.

8. Исаченко А.А. Оценка эффективности способов предотвращения пучения пород почвы штреков при отработке свиты весьма сближенных угольных пластов / А.А. Исаченко, Т.В. Петрова // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2016. Материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф., 23-24 ноября 2016 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т имени Т. Ф. Горбачева»; редкол.: А.А. Хорешок (отв. редактор), В.А. Колмаков, С.Г. Костюк (зам. отв. редактора) [и др.]. – Кемерово, 2016. Режим доступа: http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Sibresource/2016/materials/pages/Articles/dobycha_uglya_tehnologicheskie_i_ekologicheskie_problemy/74.pdf

Подписано в печать _____

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 1,4 Тираж 100 экз. Заказ _____

Сибирский государственный индустриальный университет

664007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.

Издательский центр СибГИУ