

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
(СибГИУ)

ИСАЧЕНКО Алексей Александрович

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

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность:

25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная
аэрогазодинамика и горная теплофизика (п.2 паспорта)

Научный руководитель

Доктор экономических наук,

кандидат технических наук, профессор

Петрова Татьяна Викторовна

Кемерово – 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ ВЕСЬМА СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ	12
1.1 Обоснование актуальности создания способов управления горным давлением при подземной разработке сближенных угольных пластов	12
1.2 Методы определения геомеханических параметров технологии поддержания в эксплуатационном состоянии подземных выработок при отработке свиты весьма сближенных пластов	20
1.3 Выводы и обоснование направлений исследований геомеханических процессов для выбора способов управления горным давлением при подземной разработке весьма сближенных угольных пластов	26
2 ШАХТНЫЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕЩЕНИЙ ПОРОД В ПОДДЕРЖИВАЕМЫХ ВЫРАБОТКАХ ПРИ ОТРАБОТКЕ ВЕСЬМА СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ	29
2.1 Программа и методика исследований смещений пород в поддерживаемых выработках при отработке весьма сближенных угольных пластов	29
2.2 Методика определения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной в окрестности горных выработок	35
2.3 Характеристика горно-геологических и горнотехнических условий экспериментального участка шахтного поля	39

2.4	Шахтные исследования смещений пород в поддерживаемых выработках при отработке весьма сближенных угольных пластов	43
2.5	Аналитические исследования смещений пород в поддерживаемых выработках при отработке весьма сближенных угольных пластов	52
2.6	Выводы	58
3	ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА ПРИ ПОДГОТОВКЕ И ОТРАБОТКЕ ВЕСЬМА СБЛИЖЕННЫХ ПЛАСТОВ	61
3.1	Закономерности распределения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной в окрестности очистных и подготовительных выработок на весьма сближенных пластах	63
3.2	Закономерности распределения смещений массива горных пород в окрестности очистных и подготовительных выработок на весьма сближенных пластах	70
3.3	Закономерности распределения напряжений в массиве горных пород в окрестности очистных и подготовительных выработок на весьма сближенных пластах	70
3.4	Выводы	72
4	ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРОВ УСТОЙЧИВЫХ УГОЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ И ОТРАБОТКЕ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА НА ВЕСЬМА СБЛИЖЕННЫХ ПЛАСТАХ	77
4.1	Обоснование размеров и пространственного положения угольных целиков между вскрывающими выработками на весьма сближенных угольных пластах	77

4.2	Обоснование размеров устойчивых угольных целиков между выемочными столбами при подготовке и отработке весьма сближенных угольных пластов	92
4.3	Исследование влияния мощности пород между сближенными пластами на геомеханические параметры массива горных пород в окрестности очистного забоя и пересекаемых передовых выработок	98
4.3.1	Исследование влияния на напряжённо-деформированное состояние массива горных пород мощности пород между пластами при расстоянии между очистным забоем и пересекаемой выработкой 10 м	101
4.3.2	Исследование влияния на напряжённо-деформированное состояние массива горных пород мощности пород между пластами при расстоянии между очистным забоем и пересекаемой выработкой менее 10 м	106
4.4	Выводы	117
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	122
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Журнал замеров конвергенции боков выработки, пучения почвы и состояния кровли на вентиляционном штреке 2-5	134
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Результаты регрессионного анализа	145
	ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Расчет экономического эффекта	146
	ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Справка о внедрении результатов исследования	149

ВВЕДЕНИЕ

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.

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 взаимодействия геомеханических и технологических процессов в окрестности очистных и подготовительных выработок при подготовке и отработке выемочных участков на весьма сближенных пластах.

Научные положения, защищаемые автором:

– установленные 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;

– выявленные 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;

- выявленные закономерности 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 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 взаимодействующих 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 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 поддержания подготовительных выработок с использованием размеров устойчивых угольных целиков, снижения 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 9 печатных работ, в том числе 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, изложена на 148 страницах машинописного текста и содержит 57 рисунков, 8 таблиц и список литературы из 102 наименований.

1 АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ ВЕСЬМА СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

1.1 Обоснование актуальности создания способов управления горным давлением при подземной разработке сближенных угольных пластов

Для обоснования актуальности исследований геомеханических процессов при отработке подземным способом свиты весьма сближенных угольных пластов проведена идентификация понятия их сближенности. Согласно исследованиям [1-3 и др.], к сближенным относятся пласты, при отработке которых возникает необходимость учёта их совместного залегания в углепородной толще. Понятие весьма сближенные пласты при их пологом залегании следует применять для пластов, разделённых породами междупластья, мощность которого не допускает отработку пластов в восходящем порядке. Кроме мощности пород между весьма сближенными пластами на эффективность их отработки влияют следующие факторы:

- мощность, структура и прочность породных слоёв между пластами;
- размывы, кластические инъекции, слияние или расщепление пластов в пределах шахтного поля;
- дизъюнктивные нарушения пластов и пород между пластами, в том числе по напластованию;
- газоносность угольных пластов в свите.

На рис. 1.1 в качестве примера приведены геологический разрез (рис. 1.1, а) и план горных выработок (рис. 1.1, б) в пределах горного отвода шахты «Кушеяковская» (Кузбасс). На рисунке выделены участки весьма сближенных пластов 66-67, неблагоприятных для отработки длинными комплексно-механизированными забоями (ДСО).

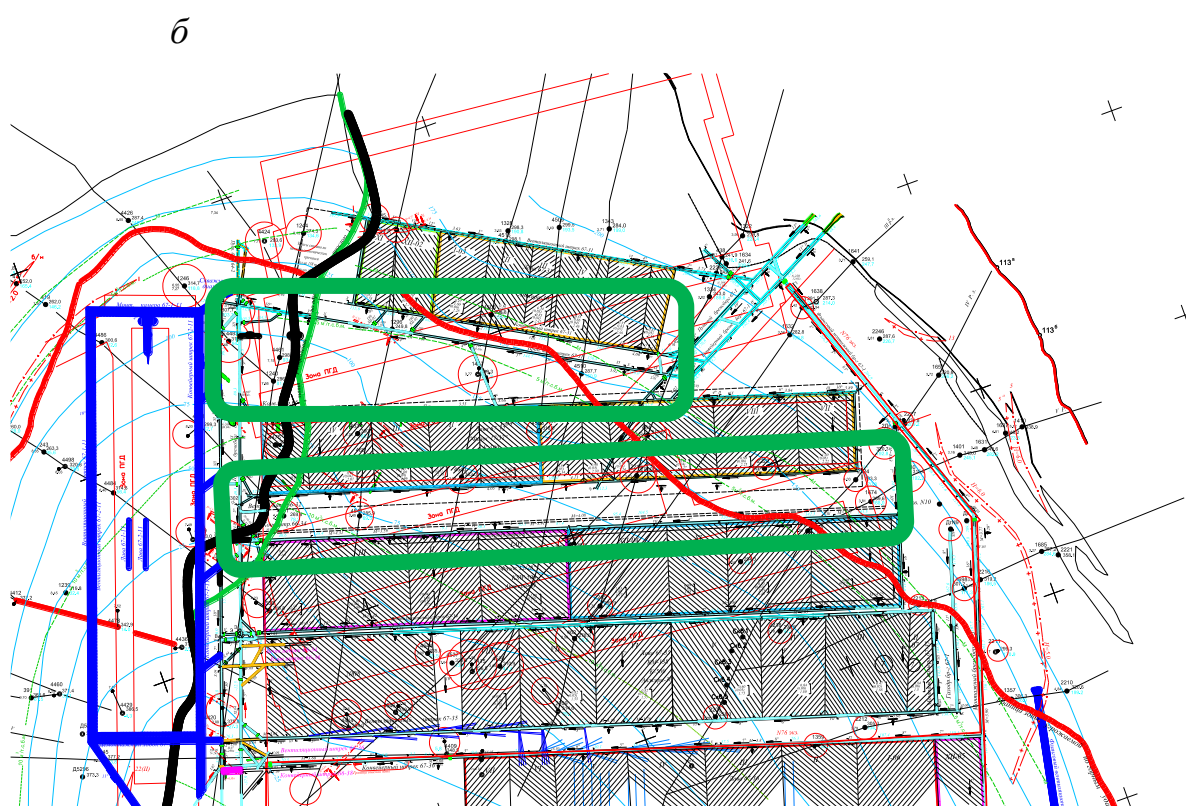
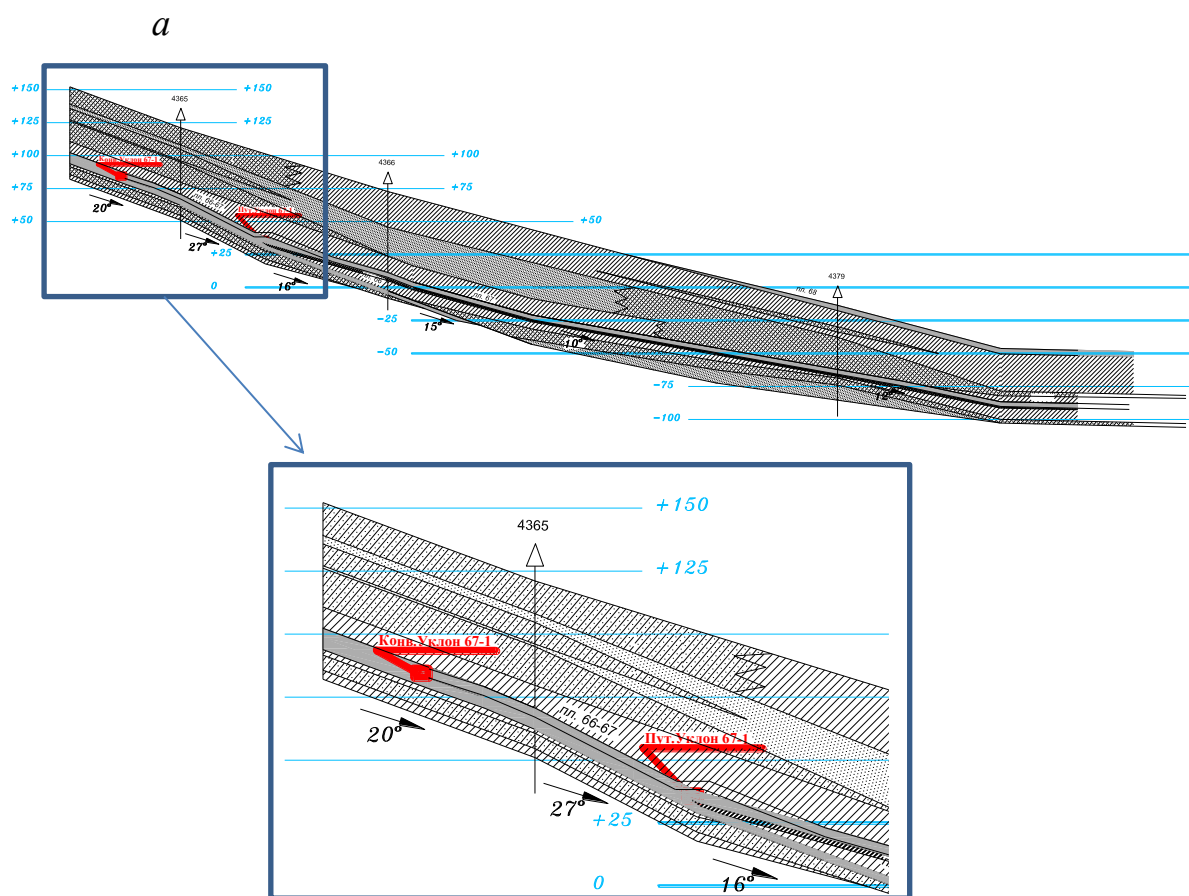


Рис. 1.1. Разрез угленородной толщи в зоне слияния и расщепления пластов 66-67 (а) и зоны, неблагоприятные для отработки системой ДСО в условиях сближенных пластов 66-67 (б) шахты «Кушеяковская», Кузбасс

Из рис. 1.1 следует, что геометрические элементы залегания свиты пластов 64, 66-67 и 68 характеризуются слиянием и расщеплением пластов 66-67 и выклиниванием верхнего пласта 68, то есть существенной пространственной изменчивостью горно-геологических параметров весьма сближенных пластов по площади шахтного поля в налегающей толще пород и свиты пластов. Характерной особенностью условий залегания весьма сближенных пластов 64, 66-67 и 68 является изменчивость прочностных свойств вмещающих пласты пород в интервале 18-87 МПа.

Соответственно, изменчивость элементов залегания свиты, в том числе мощности пород между пластами весьма сближенных угольных пластов, существенно повлияла на планировку горных выработок, форму и размеры выемочных столбов. Выявленные в процессе вскрытия и подготовки шахтного поля особенности пространственного расположения весьма сближенных пластов потребовали корректировки планировки подготавливающих и выемочных выработок, оставления широких угольных целиков между соседними выемочными столбами и в пределах выемочного участка. Геомеханические параметры выемочных участков, способы охраны и поддержания горных выработок существенно отличаются от оптимальных, рекомендуемых нормами технологического проектирования [4-6].

Сотрудниками институтов ВНИМИ и ВНИИГидроугля проводились шахтные эксперименты при отработке весьма сближенных угольных пластов на шахте «Кушеяковская» [7], и выявлены особенности деформирования пород в окрестности горных выемочных выработок. Установлено, что пучение пород почвы подготовительных выработок существенно зависит от глубины разработки (150 мм на глубине до 100 м и 1000-1500 мм на глубине 350-450 м), изменения мощности и прочности угольных прослоек между сближенными пластами и в окрестности выработки. На величины пучения пород почвы выработок на весьма сближенных пластах влияют расстояние до очистного забоя и ширина целика между отрабатываемым выемочным участком и очистным выработанным пространством соседнего отработанного

выемочного столба. На глубине 100-120 м при приближении очистного забоя пучение пород почвы увеличилось в конвейерном штреке до 10 мм, а в вентиляционном штреке, охраняемым угольным целиком шириной 6 м - до 1170 мм.

Таким образом, на этапах разработки проектной документации, её реализации при строительстве и эксплуатации шахты возникает необходимость учета влияния сближенности пластов на геомеханическое состояние горных выработок, основные технико-экономические показатели работы предприятия и промышленную безопасность.

По результатам анализа опыта отработки весьма сближенных пластов установлено, что для обоснования параметров технологии разработки при разработке проектной документации и разработке месторождения кроме пространственного положения пластов и горных выработок необходимо учитывать влияние особенностей геомеханических процессов [2, 7-12, 75 и др.]. С этой целью следует выявить закономерности динамики напряжённно-деформированного состояния углепородной толщи при разных вариантах отработки сближенных пластов.

Для выявления и систематизации закономерностей и зависимостей распределения геомеханических параметров технологии отработки весьма сближенных пластов проведён анализ характера проявления горного давления и производственного опыта управления геомеханическими процессами при отработке весьма сближенных пластов.

В работах [1, 2, 13-18] выявлены следующие проблемы управления напряжённно-деформированным состоянием углепородного массива при отработке сближенных пластов (рис. 1.2):

- обеспечение устойчивости пород междупластья при нисходящей или восходящей отработке пластов в свите;
- обоснование и реализация мероприятий по снижению пучения пород почвы выработок верхнего пласта при надработке нижнего пласта;
- профилактика прорывов метана из нижнего пласта при надработке его

горными работами по верхнему пласту;

– профилактика пучения пород почвы при обводнённых глинистых породах между пластами;

– профилактика эндогенных пожаров в выработанном пространстве весьма сближенных пластов.

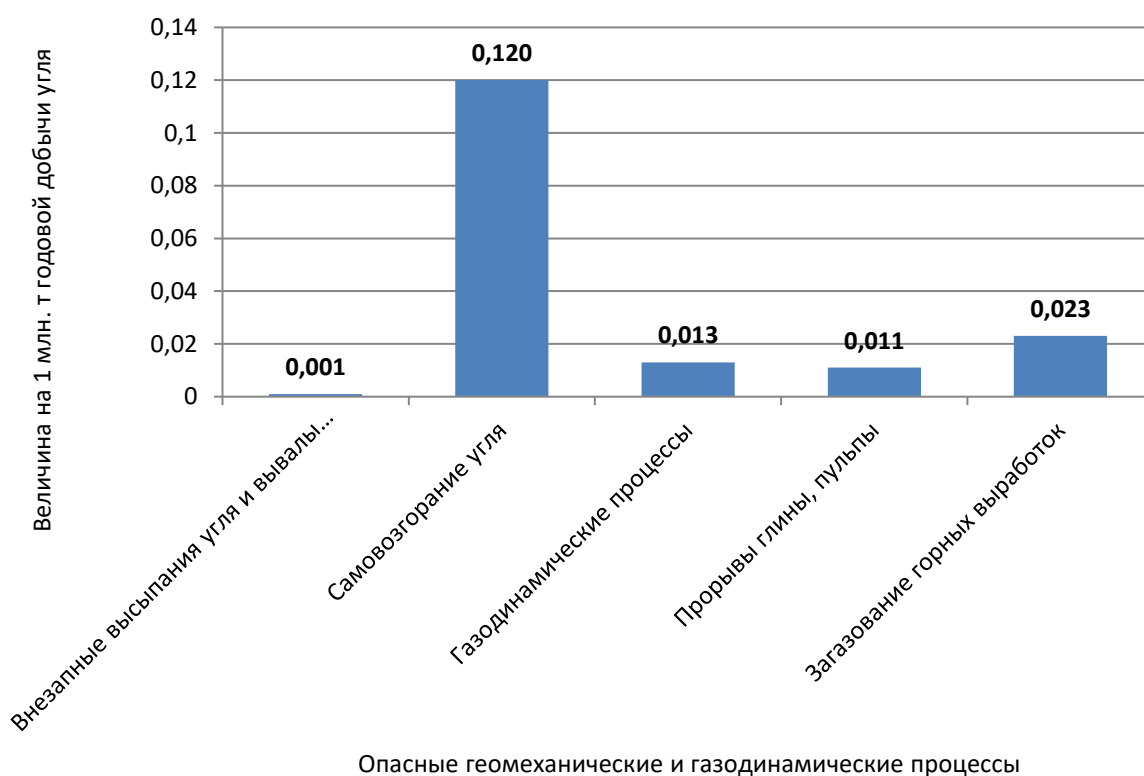


Рис. 1.2. Гистограмма распределения негативных явлений при отработке весьма сближенных пластов [1]

Для решения указанных проблем на практике при отработке весьма сближенных пластов применяются следующие решения по геомеханическому обеспечению технологии подземной разработки угольных пластов:

1) Геомеханическое обоснование пространственного положения выработок соседних пластов в зонах разгрузки, что достигается построением границ следующих зон: опорного горного давления, защищённых от повышенного горного давления, разгрузки [19]. Однако при определении границ этих зон на весьма сближенных пластах не всегда учитываются

прочность пород междупластья, пучение обводнённых пород почвы надрабатываемых подготовительных выработок, влияние расстояния от движущегося очистного забоя на устойчивость подготовительных выработок и устойчивость угольных целиков. Особенно сложная геомеханическая ситуация возникает на весьма сближенных угольных пластах при переходе длинным комплексно-механизированным забоем передовых выработок, дизъюнктивных нарушений, формировании демонтажных камер и др.

2) Разработка весьма сближенных пластов как единого мощного пласта сложного строения. Однако рекомендации нормативных документов по оптимальному по геомеханическим факторам расположению подготовительных выработок на сближенных пластах отсутствуют.

3) Разработка и реализация мероприятий по предупреждению пучения пород почвы подготовительных выработок, однако отсутствуют методы обоснования геомеханических параметров, обеспечивающих сохранение выработок в эксплуатационном состоянии.

Геомеханическое обоснование величин пучения пород почвы осуществлялось многими исследователями. В работе [2] обобщены результаты 159 опытов активного управления пучением пород почвы. Результаты анализа подтверждают (рис. 1.3), что эффективность мероприятий по профилактике пучения пород почвы в среднем составляет 50%. Распределение отношения величин пучения пород почвы на экспериментальных, где проводились профилактические работы по упрочнению пород почвы, и на контрольных участках выработок в 18 случаях из 159 были отрицательные. На весьма сближенных пластах сведения об эффективности мероприятий по профилактике пучения пород отсутствуют.

Заслуживает внимания положительный опыт профилактики пучения пород почвы подготовительных выработок, накопленный на шахтах Германии [12], где проведена оценка в шахтных условиях следующих технологических и технических решений:



Рис. 1.3. Распределение отношения величин пучения пород почвы на экспериментальных и контрольных участках выработок

1) Анкерование пород почвы

Оптимальными для применения этого способа являются следующие условия: ненарушенность породного массива, так как в породах почвы с пределом прочности при сжатии меньше 25 МПа, деление породных слоёв трещинами на блоки, или трещиноватых эффективность применения анкеров весьма низкая.

Для укрепления пород почвы рекомендуется применение следующей технологии (рис. 1.4): установка анкеров должна быть на расстоянии не более 10 м от подготовительного забоя; плотность крепи не менее одного анкера на квадратный метр, длина анкеров больше ширины выработки.

2) Упрочнение пород почвы нагнетанием тампонажных или клеевых растворов

Упрочнение пород почвы тампонажными или клеевыми материалами осуществляется при условии, если в массиве раскрыты трещины и прочность пород составляет $(0,25-0,50)\sigma_{сж}$, где $\sigma_{сж}$ – первоначальный предел прочности пород при сжатии. При упрочнении возможны три варианта: с частичным

упрочнением, полным восстановлением прочности $\sigma_{сж.у} \approx \sigma_{сж}$ или с созданием несущего слоя с прочностью пород $\sigma_{сж.у} > \sigma_{сж}$. Тампонаж пород почвы рекомендуется проводить в следующих условиях:

- после первичной подрывки пород почвы;
- при повышении вероятности пучения пород почвы при подработке или надработке пластов;
- при приближении очистного забоя к участку выработки, имеющему признаки разрушения пород почвы: продольные трещины, неровная поверхность выработки, нарушение режимов работы оборудования.

Тампонажные скважины рекомендуется бурить под углом 45° к горизонту.

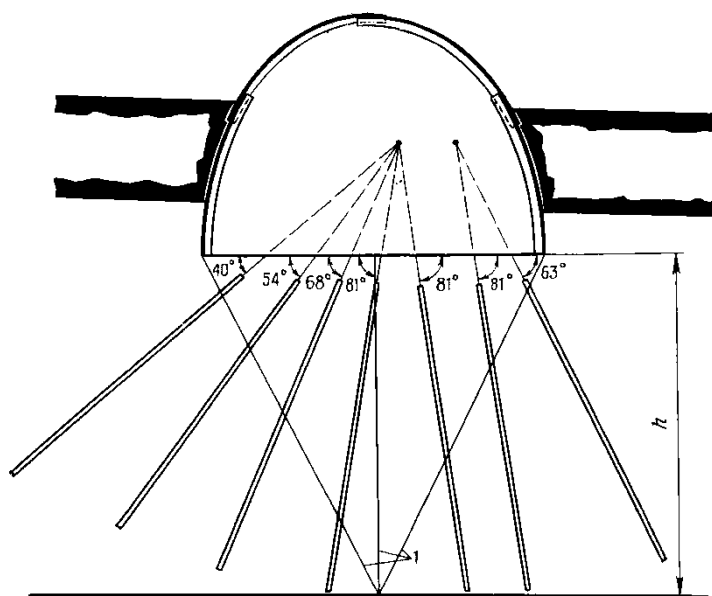


Рис. 1.4. Схема установки анкеров при упрочнении пород почвы в штреке с расположением очистного выработанного пространства справа [12]

3) Устройство разгрузочных щелей

Этот способ применяется при наличии в породах почвы больших горизонтальных напряжений. При формировании вертикальной щели в почве выработки происходит релаксация напряжений и снижение сил выдавливания

пород в выработку. Однако этот способ технически реализовать весьма сложно, так как глубина щели должна быть больше половины ширины выработки.

Результаты проведённого анализа геомеханического состояния подготовительных выработок подтвердили их неудовлетворительную эксплуатационную устойчивость и актуальность создания способов управления горным давлением при подземной разработке сближенных угольных пластов.

1.2 Методы определения геомеханических параметров технологии поддержания в эксплуатационном состоянии подземных выработок при отработке свиты весьма сближенных пластов

Как показывают результаты анализа опыта практического применения на весьма сближенных пластах традиционных способов поддержания выработок, их эксплуатационное состояние не всегда обеспечивается [1, 7, 9, 10, 20-25 и др.]. Требуется проведение дополнительных мероприятий с учётом специфических горно-геологических условий и положения выработок относительно границ очистного выработанного пространства, их назначения, формы и размеров угольных целиков и других факторов. Для обоснования параметров специальных видов крепи и мероприятий по обеспечению устойчивости выработок необходимо определить по результатам расчётов или в натурных условиях величины смещений контура выработки, напряжённо-деформированного состояния массива горных пород. Ниже приводится краткий анализ применяемых для этого методов.

Для прогноза смещений пород на контуре подземных выработок в горной практике рекомендуется использовать действующие нормативные документы [19, 26-31 и др.]. Почти во всех методических документах ВНИМИ рекомендуется определять типовые смещения по графикам, в которых

учитываются глубина разработки и предел прочности угля и пород в окрестности выработки. Особые условия изменчивости горного массива, взаимного расположения выработок учитываются коэффициентами. Прочностные и геометрические параметры пород между пластами косвенно учитываются средневзвешенным значением расчётного сопротивления пород при сжатии. Однако ни один из коэффициентов не учитывает сближенность угольных пластов.

Несоответствие смещений пород на контуре выработок, особенно при надработке весьма сближенных пластов, отмечают многие авторы [1, 2, 7, 9, 10].

В этой связи возникает необходимость решения научной задачи для выявления зависимостей смещений пород в поддерживаемых выработках от глубины разработки, расстояния до очистного забоя, ширины угольных целиков, мощности и механических свойств пород между весьма сближенными пластами. Для решения этой задачи в настоящей работе предлагается применить численный метод конечных элементов.

Одним из способов обеспечения устойчивости подготовительных выработок на современных угольных шахтах является охрана их угольными целиками. Необходимость применения этого способа весьма возросла при внедрении на угольных шахтах России многоштрековой подготовки выемочных участков. Учитывая, что методика расчёта ширины угольных целиков не всегда обеспечивает устойчивость выработок даже при отработке одиночных пластов, необходимость разработки алгоритма расчёта ширины угольных пластов при отработке весьма сближенных пластов, весьма актуальная. Поэтому актуальной научной задачей является обоснование геомеханических параметров угольных целиков при многоштрековой подготовке.

Решению проблемы определения размеров целиков, обеспечивающих эксплуатационную устойчивость охраняемых подготовительных выработок, посвятили свои работы ведущие отечественные и иностранные учёные, в том

числе С.Г. Авершин, Ф.П. Бублик, П.В. Егоров, И.М. Петухов, А.М. Линьков, М.М. Протодяконов, В.Д. Слесарев, Л.Д. Шевяков и др. [4, 25, 33-35, 49, 95-102 и др.].

Результаты оценки соответствия вариантов алгоритмов расчёта ширины устойчивых угольных целиков на расчётной схеме, приведённой на рис. 1.5, в виде контрольного примера систематизированы в табл. 1.1.

В формулах табл. 1.1 приняты следующие обозначения и численные значения исходных данных в тестовом варианте: b – ширина целика, м; a – ширина очистной выработки, $a=300$ м; c – ширина штрека $c=6$ м; H – глубина разработки, $H=500$ м; f – коэффициент крепости угля в целике, $f=1,0$; $\sigma_{сж}$ – предел прочности угля при сжатии; l – ширина зоны опорного горного давления [19].

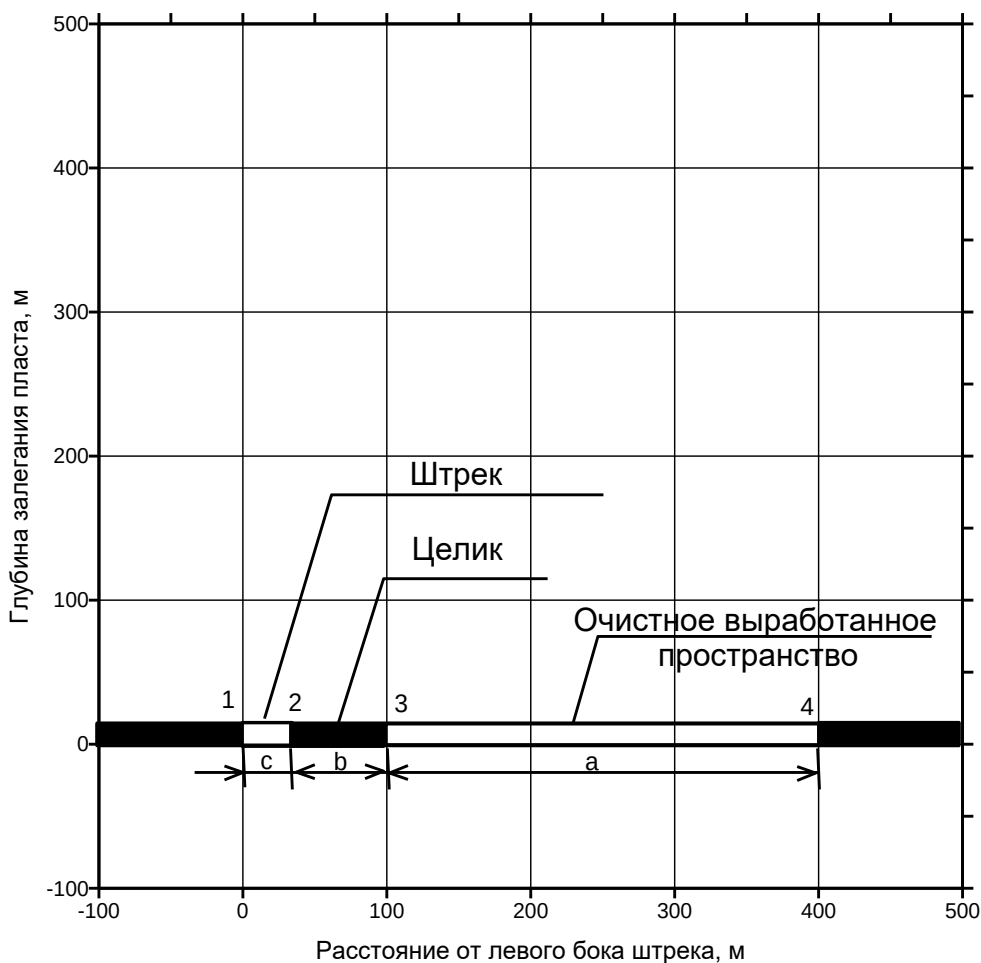


Рис. 1.5. Расчётная схема расположения угольного целика, очистной и подготовительной выработок

Таблица 1.1. Сравнение результатов расчёта ширины целика по разным алгоритмам

Формула	Результаты расчёта	Авторы, источник
$b = \frac{1}{5} \sqrt{\frac{2aH}{f}}$	$b=109$ м	Протоdjяконов М.М. [4]
$b = \frac{53,2 \cdot \gamma H}{\sigma_{сж}} - 6$	$b=34$ м	[36]
$b=0,5l$	$b=40$ м	[19]
$b = \alpha(c + a)$ при $\alpha = 0,08$	$b=24$ м	ВНИМИ [33]

Как следует из табл. 1.1, минимальная ширина ленточного угольного целика, рассчитанная по разным первоисточникам, существенно отличается, то есть указанные в табл. 1.1 алгоритмы не могут быть рекомендованы для практического применения.

М.М. Протоdjяконов предложил алгоритм определения размеров целиков для охраны штреков [4]. Сущность расчётной схемы состоит в распределении по линейному закону веса подработанных пород на краевые участки угольного пласта. Эта схема при использовании разных функций распределения давления на угольный пласт реализована в работах многих авторов и методических указаниях ВНИМИ [37, 38, 77]. По опыту применения этого метода принятая ширина целика не всегда обеспечивает устойчивость охраняемой выработки. Причины такого несоответствия следующие:

- не учитываются зависимости напряжений, деформаций и прочности угля по ширине целика;

- границы зон повышенного горного давления под влиянием угольных целиков-штампов определяются геометрически по таблицам, полученным по результатам натурных измерений деформаций выработок в прошлом веке [19], что не соответствует современным техническим средствам и технологии ведения горных работ: за последние 15 лет длина выемочного столба

увеличилась до 4 км, длина лавы - от 100 до 400 м, скорость подвигания очистного забоя выросла почти на порядок;

– не учитываются мощность и прочность пород между весьма сближенными пластами.

Для устранения указанных недостатков применяемых методик в России и за рубежом развиваются новые методы прогноза устойчивости подготовительных выработок, охраняемых угольными целиками [8, 10, 18, 21, 27, 39-45, 48 и др.].

В монографии [48] приведены результаты обобщения опыта и направлений исследований угольных целиков на шахтах Австралии, Польши, США, Южной Африки. Основные выводы следующие:

– следует выделять «узкие» и «широкие» целики; в «узких» целиках опорное давление формируется без образования упругого ядра, в «широких» целиках такое ядро формируется;

– разрушения краевой части целика, в том числе в боках охраняемой выработки, на глубине 450 м достигают 2,5-3,5 м в зависимости от расстояния до линии очистного забоя;

– устойчивость угольного целика и охраняемой им подготовительной выработки существенно зависит от деформационных характеристик вмещающих пласт пород, что актуально для отработки свиты весьма сближенных пластов.

Особенность охраны подготовительных выработок на весьма сближенных пластах состоит в том, что структура целика по толщине является сложной, так как включает два сближенных пласта, породы между пластами и вмещающие породы двух пластов. При этом происходит вдавливание угольного целика по верхнему пласту и пород между сближенными пластами в нижний пласт (явление штампа) с интенсивным вытеснением пород междупластья в выработки верхнего пласта.

Характер деформирования целиков, включающих угольные пласты и породные прослойки, изучался многими авторами. В монографии [51]

рассмотрено распределение напряжений в угольном целике по пласту сложного строения и установлено существенное влияние мощности и прочности породного прослойка на устойчивость целика. Влияние свойств пород между весьма сближенными угольными пластами на устойчивость угольных целиков и охраняемых подготовительных выработок не изучено.

Таким образом, доказана актуальность разработки и реализации современных алгоритмов расчёта ширины угольных целиков, обеспечивающих устойчивость подготовительных выработок, так как существующие методы не адаптированы к современным условиям многоштрековой подготовки и высокопроизводительной отработки выемочных участков, в том числе на весьма сближенных пластах.

Важной научной задачей является обоснование геомеханических параметров передовых выработок в зоне влияния очистного комплексно механизированного забоя.

Увеличение длины выемочных столбов до 2-3 км привело к необходимости проходки дополнительных выработок между вентиляционным и конвейерным штреками. Эти выработки должны обеспечивать проветривание тупиковых забоев при проведении штреков, а также выход людей в аварийной ситуации. В процессе отработки запасов выемочного участка и пересечения передовых выработок комплексно-механизированным забоем возникает задача управления горным давлением в окрестности этих выработок. Аналогичная задача, то есть при сокращающемся целике, возникает при подходе очистного забоя к демонтажной камере.

Для обеспечения устойчивости пород кровли в очистном забое при пересечении им передовой выработки на практике проверено несколько схем поддержания передовой выработки.

При применении для поддержания пересекаемых очистным забоем выработок применялась металлическая или анкерная крепь первого уровня с усилением деревянными стойками происходит рост материальных и трудовых затрат, снижение скорости движения очистного забоя, повышение опасности

при извлечении стоек. Авторы в работе [52] предложили и проверили на практике эффективность применения двухуровневой анкерной крепи с усилением бетонными блоками. По результатам натурных наблюдений установлено удовлетворительное эксплуатационное состояние очистного забоя и пересекаемой выработки, что подтверждено отсутствием разрушений пород кровли и угля в боках выработки.

Оригинальное технологическое решение при переходе диагональной выработки в условиях Донбасса предложено в патенте [53], согласно которому в выработке формируется искусственная кровля с установкой деревянных стоек под брус и пневмокостров, в которые подаётся сжатый воздух. Способ может быть реализован при отработке угольных пластов и на шахтах Кузбасса.

1.3 Выводы и обоснование направлений исследований геомеханических процессов для выбора способов управления горным давлением при подземной разработке весьма сближенных угольных пластов

По результатам анализа разработанных и применяемых на практике способов и средств геомеханического обеспечения технологии весьма сближенных угольных пластов установлено:

1. Не выявлены закономерности динамики напряжённо-деформированного состояния углепородной толщи при разных технологических схемах отработки сближенных пластов, что не позволяет обосновать геомеханические и технологические параметры технологии при разработке проектной документации.

Следовательно, актуальными являются шахтные и аналитические исследования для выявления зависимостей и закономерностей смещений пород в поддерживаемых выработках от глубины разработки, расстояния до очистного забоя, мощности и механических свойств пород между весьма

сближенными пластами.

2. Действующие методики расчёта ширины угольных целиков не всегда обеспечивает устойчивость выработок при отработке весьма сближенных пластов, что подтверждается необходимостью ремонта горных выработок при пучении пород между сближенными пластами.

Поэтому актуальной научной задачей является обоснование геомеханических параметров угольных целиков, обеспечивающих безремонтное поддержания подготовительных выработок в эксплуатационном состоянии при многоштрековой подготовке выемочных столбов с учётом влияния очистного выработанного пространства на весьма сближенных пластах. Анализ состояния и определение формы и размеров допредельного и запредельного состояния угля в целиках предлагается проводить по результатам численного моделирования методом конечных элементов с оценкой адекватности по форме и размерам зон отжима угля в боках штреков.

3. Сложная геомеханическая ситуация возникает на весьма сближенных угольных пластах при переходе длинного комплексно-механизированного забоя передовых выработок, дизъюнктивных нарушений, формировании демонтажных камер, въезде механизированного комплекса в заранее пройденную передовую выработку, демонтажную камеру и др.

Поэтому актуальной научно-исследовательской задачей является обеспечение устойчивости сокращаемого угольного целика, вмещающих пород и краевой части пласта передовой выработки при въезде в неё очистного механизированного комплекса на весьма сближенных пластах на основе результатов натурных наблюдений и численного моделирования напряжённо-деформированного состояния горного массива с учетом давления на породы кровли и почвы пласта секций механизированной крепи или искусственных сооружений.

4. Для обоснования способов управления горным давлением при подземной разработке весьма сближенных угольных пластов необходимо решить комплексную задачу расчёта геомеханических параметров

технологических схем отработки свиты весьма сближенных пластов с целью определения рационального пространственного положения системы подготовительных выработок на сближенных пластах с учётом формы и размеров зон опорного горного давления, разгрузки, допредельного и запредельного деформирования пород.

2 ШАХТНЫЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕЩЕНИЙ ПОРОД В ПОДДЕРЖИВАЕМЫХ ВЫРАБОТКАХ ПРИ ОТРАБОТКЕ ВЕСЬМА СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Во второй главе приведены результаты шахтных исследований, разработан алгоритм расчёта параметров напряжённо-деформированного состояния углепородного массива (НДС) в окрестности поддерживаемых подземных выработок, проведен сравнительный анализ результатов численного моделирования и шахтных исследований деформирования горного массива при отработке весьма сближенных пластов, выявлены закономерности деформирования пород в окрестности подготовительных выработок на весьма сближенных пластах.

2.1 Программа и методика исследований смещений пород в поддерживаемых выработках при отработке весьма сближенных угольных пластов

Для решения поставленных научно-исследовательских задач разработана и реализована программа исследований, включающая следующие этапы:

- анализ и обобщение отечественного и зарубежного опыта проведения и поддержания подземных выработок при отработке весьма сближенных угольных пластов;
- выбор объекта исследований и экспериментальных участков, оценка соответствия горно-геологических и горнотехнических условий залегания и отработки весьма сближенных пластов поставленным научно-исследовательским задачам;
- выбор методов, способов и средств проведения шахтных и аналитических исследований, обобщения результатов экспериментов;

– проведение шахтных наблюдений: оборудование наблюдательных станций, шахтные измерения, предварительная обработка результатов экспериментов;

– настройка по результатам шахтных измерений исходных данных компьютерного программного комплекса для расчёта геомеханических параметров углепородного массива при отработке весьма сближенных пластов;

– численное моделирование геомеханических процессов: постановка задачи, построение геометрической модели, выбор альтернативных вариантов пространственного расположения системы очистных и подготовительных выработок, численное моделирование, обсуждение результатов моделирования, обоснование закономерностей, выводов и рекомендаций;

– реализация результатов исследований на действующей шахте, отрабатывающей весьма сближенные пласты.

При проведении исследований использованы следующие методы: статистический анализ деформаций поддерживаемых выработок при отработке сближенных пластов; экспертная оценка эксплуатационной устойчивости подготовительных выработок; натурные измерения деформаций горных пород; численное многовариантное моделирование взаимодействующих технологических и геомеханических процессов; методы системного анализа и выбора рациональных технологических решений для подготовки и отработки выемочных участков на сближенных пластах; шахтные эксперименты и апробация вариантов схем подготовки выемочных участков на весьма сближенных пластах, шахтные эксперименты и апробация вариантов проведения и поддержания подготовительных выработок при отработке весьма сближенных угольных пластов [21, 23, 55-61].

Общая схема шахтных и аналитических исследований закономерностей распределения смещений пород в поддерживаемых выработках при отработке весьма сближенных угольных пластов приведена на рис. 2.1. Согласно схеме, на предприятии принимается решение о проведении экспериментальных

исследований (блок 1).

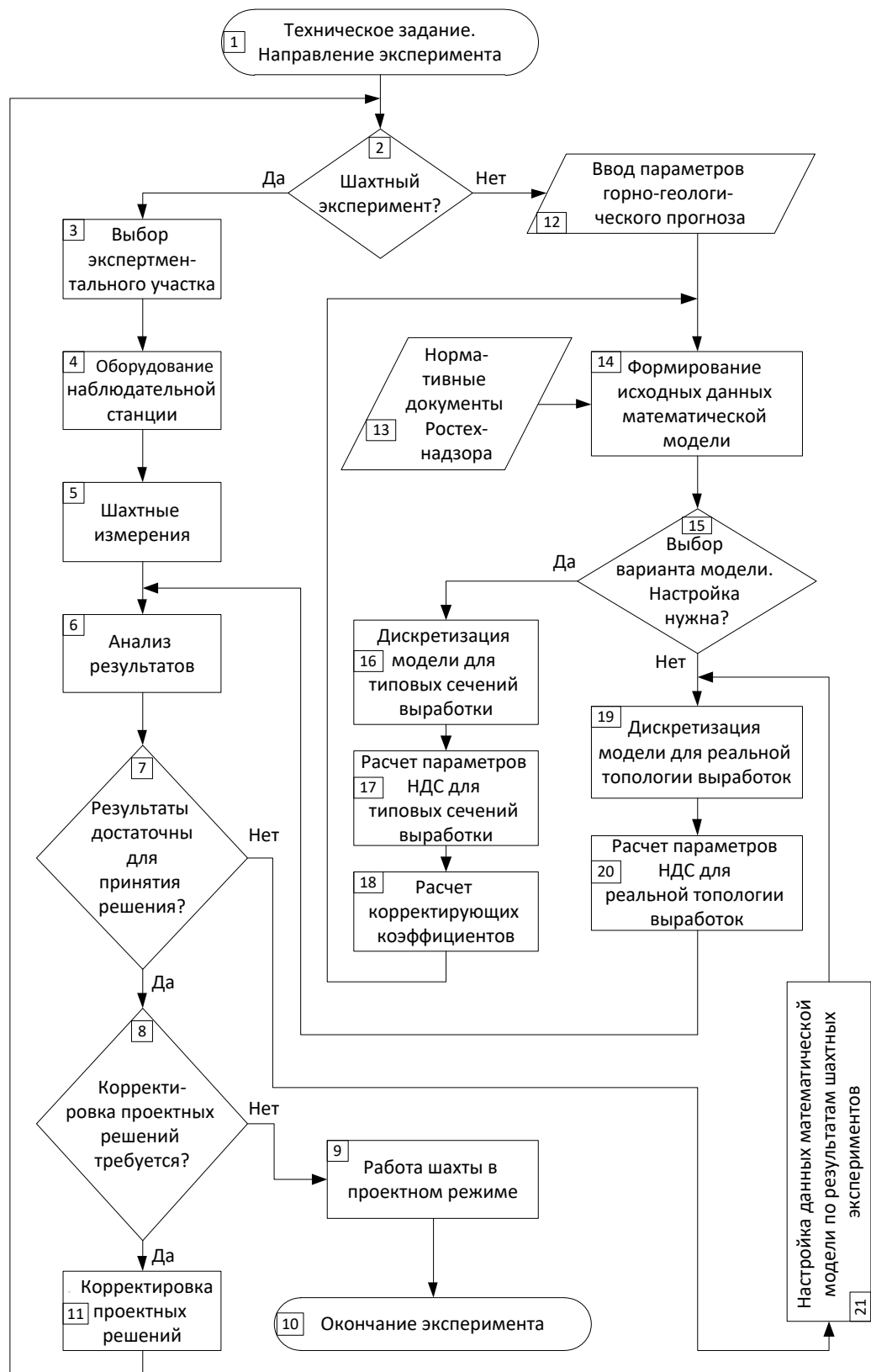


Рис. 2.1. Схема проведения шахтных и численных исследований закономерностей распределения смещений пород в поддерживаемых выработках при отработке весьма сближенных угольных пластов

Выбирается форма проведения экспериментальных работ: шахтный эксперимент, математическое моделирование или параллельное проведение исследований. Далее осуществляется выбор экспериментального участка, разрабатывается программа исследований и осуществляется оборудование наблюдательных станций (блоки 2 и 4 на рис. 2.1).

При проведении шахтных исследований могут применяться визуальные, инструментальные или комбинированные методы (блок 5).

Визуальные обследования состояния горных выработок осуществляются по заданному маршруту или пикетам на выкопировке из плана горных выработок с записью аномальных проявлений горного давления в полевом журнале или зарисовкой характерных участков выработок. Инструментальные наблюдения включают измерения смещений контурных или глубинных реперов с помощью рулетки или по показаниям датчиков, замеры форм и размеров разрушений горных пород и элементов крепи.

Комбинированные методы шахтных наблюдений включают [20, 28, 32, 39, 62-71] проведение натурных измерений, фотографирование или зарисовки характерных отклонений состояния реального объекта исследования от указанного в проектной документации.

В процессе или после проведения шахтных наблюдений осуществляется анализ и обработка их результатов в виде таблиц, графиков, выводов и рекомендаций (блок 6). По результатам исследований принимается решение о достаточности экспериментальных данных (блок 7). Производится численное моделирование напряженно-деформированного состояния геомассива, для этого в блоке 21 осуществляется настройка входных параметров численной модели по результатам шахтных измерений смещений и деформаций пород или элементов крепи.

С использованием результатов исследований [83, 84, 92, 93] и пакета программ [72] проводится дискретизация геометрической модели на конечные элементы и расчёт следующих геомеханических параметров (блоки 19 и 20): возникающих под влиянием горных выработок дополнительных главных,

вертикальных и горизонтальных абсолютных смещений; полных главных, вертикальных, горизонтальных и касательных напряжений; полных главных, вертикальных, горизонтальных и касательных относительных деформаций; коэффициентов концентрации вертикальных и горизонтальных напряжений; отношений остаточной прочности пород к исходной (коэффициента повреждаемости, дезинтеграции).

После ввода результатов горно-геологического прогноза в блоке 12 и условий сформулированных на основе требований нормативных документов в блоке 13, например, в «Инструкции по расчёту и применению анкерной крепи на угольных шахтах» [31], «Инструкции по выбору рамных податливых крепей горных выработок» [26], проводится формирование исходных данных математической модели (блок 14). В качестве параметров и индикаторов при настройке входных параметров программного комплекса используются высота свода естественного равновесия, смещения пород кровли, почвы и боков типовой выработки, глубина зоны отжима, деформации элементов крепи и др.

Далее из блока 15 автоматически решение передаётся в блоки 16-17 для расчёта параметров напряжённо-деформированного состояния геомассива для типовых сечений горных выработок, принятых согласно нормативным документам. В блоке 18 определяются корректирующие коэффициенты, равные отношению рекомендованных нормативными документами и вычисленных методом конечных элементов геомеханических параметров.

После уточнения по корректирующим документам исходных данных в блоке 14 расчёты продолжаются посредством последовательного выполнения операций в блоках $19 \rightarrow 20 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 11$ или $19 \rightarrow 20 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ (рис. 2.1).

На основе результатов проведения шахтных и численных исследований влияния сближенности угольных пластов на эффективность и безопасность геотехнологии осуществляется принятие решения по корректировке

проектных решений, их реализации для обеспечения условий эксплуатационной устойчивости подготовительных выработок.

Выборка исходных данных, использованных при статистическом анализе деформаций пород в окрестности горных выработок, осуществлялась по результатам натурных наблюдений геомеханических процессов шахт южного Кузбасса, отрабатывающих угольные пласты в сложных природных и техногенных условиях, в том числе шахты «Ерунаковская VIII», «Осинниковская», «Абашевская», «Кушеяковская», «Есаульская», «Усковская», «Талдинская Южная», «Кыргайская», «Котинская» и др.

Численное многовариантное моделирование взаимодействующих технологических и геомеханических процессов осуществлялось с использованием разработанного в СибГИУ пакета компьютерных программ [72], в котором реализована двумерная модель метода конечных элементов [73, 74]. Принципиально новым этапом алгоритма решения задачи прогноза геомеханических параметров является предварительная настройка численной модели по результатам натурных измерений смещений пород кровли, почвы и боков выработок. Детальное описание полученных при моделировании методом конечных элементов результатов приведено в следующих параграфах настоящей работы.

Методы системного анализа и выбора рациональных технологических решений для подготовки и отработки выемочных участков на сближенных пластах реализованы посредством оперативного мониторинга состояния горных выработок, оценки соответствия фактических параметров выемочных участков проектным, разработки технологических решений и корректировки мероприятий и паспортов выемочных участков. Шахтные эксперименты и апробация вариантов проведения и поддержания подготовительных выработок при отработке весьма сближенных угольных пластов осуществлялись посредством анализа результатов реализации следующих технологических схем выемочных участков:

- многоштрековой подготовки выемочных участков с оконтуриванием их 2-4 штреками;
- вариантов поддержания подготовительных выработок с поддиром пород почвы, укреплением боков анкерами различных типов в зоне опорного давления выемочных участков;
- вариантов нисходящей и групповой отработки сближенных пластов 2 и 1;
- синтез вариантов технологических схем для подготовки и отработки выемочных участков на весьма сближенных пластах.

2.2 Методика определения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной в окрестности горных выработок

Одним из основных геомеханических параметров, определяющих устойчивость угля и пород в окрестности горных выработок, является отношение остаточной прочности угля и пород к исходной в окрестности горных выработок. Для определения этого отношения при сложном напряжённно-деформированном состоянии по известным прочностным характеристикам угля и пород и вычисленных методом конечных элементов напряжений и деформаций массива горных пород используется диаграмма «напряжения-деформация» (рис.2.2).

Общий вид диаграммы деформирования угля или пород принят согласно результатам исследований КузГТУ и ВНИМИ [33, 34, 46, 47] с выделением на диаграмме рис. 2.2 следующих участков: упругого деформирования О-С, упруго-пластического предразрушения С-D, предельного D и запредельного состояния D-H. При упругом деформировании угля без учёта процессов механодеструкции угля график деформирования соответствует линии О – G.

Положение линии OG на рис. 2.2 определяется по результатам численного моделирования с использованием комплекса проблемно-ориентированных программ (см. рис. 2.1). Для каждой точки обрабатываемого выемочного столба мощного угольного пласта при решении упругой задачи вычисляются напряжения σ и относительные деформации ε . Таким образом, при наличии полной диаграммы напряжение-деформация и результатов численного моделирования напряжённо-деформированного состояния массива горных пород можно определить коэффициенты удароопасности K , хрупкости $K_{хр}$ и пластичности $K_{пл}$.

По графику полной диаграммы деформирования на рис. 2.2 согласно [19] можно определить следующие коэффициенты:

- удароопасности K :

$$K = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_n}; \quad (2.1)$$

- хрупкости $K_{хр}$:

$$K_{хр} = \frac{S_{ocl}}{S_{ocdk}}; \quad (2.2)$$

- пластичности $K_{пл}$:

$$K_{пл} = \frac{S_{ocdk}}{S_{ocgdk}}. \quad (2.3).$$

где ε_y , ε_n – упругая и предельная относительные деформации;

S_{ocl} , S_{ocdk} , S_{ocgdk} – площади фигур, обозначенных соответствующими угловыми точками.

Согласно графику рис. 2.2, изменение прочности угля или породы происходит на участках диаграммы $CDEFH$, но степень предразрушения постепенно возрастает от точки C по направлению к точке H .

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

$$K_{оп} = \sigma_{экс} / \sigma_{мкэ}, \quad (2.4)$$

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

$\sigma_{экс}$ – нормальные напряжения по диаграмме напряжения-деформации (рис. 2.2);

$\sigma_{мкэ}$ - нормальные вертикальные напряжения, вычисленные методом конечных элементов, по модели упругого деформирования угля или пород (линия O-G на рис. 2.2).

На участке OC, то есть в зоне упругого деформирования, при $\sigma_{экс} = \sigma_{мкэ}$ предразрушение угля или пород не происходит, и отношение остаточной прочности угля или пород к их исходной прочности $K_{оп}=1$. На остальных участках кривой CDEFH $\sigma_{экс} < \sigma_{мкэ}$ и отношение остаточной прочности угля или пород к их исходной прочности $K_{оп} < 1$.

Разработанная методика позволяет определить отношение остаточной прочности угля или пород к их исходной прочности при наличии полной диаграммы напряжения-деформации. По результатам многочисленных опытов [34, 35, 46, 47, 50, 70] и моделирования методом конечных элементов напряжённо-деформированного состояния геомассива для шахт Кузбасса установлено, что величина отношения остаточной прочности угля или пород к их исходной прочности изменяется в пределах 0,2 - 1,0. Величина отношения остаточной прочности угля или пород к их исходной прочности $K_{оп}=1$ выявлена в пределах ниспадающей ветви зоны опорного горного давления, а на контуре выработок $K_{оп} \rightarrow 0$, что подтверждается отжимом угля с боков угольных целиков и выработок.

В процессе вычислительных экспериментов по алгоритму, приведённому на рис. 2.1, 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:

$$\sigma_{сж}^{ост} = \sigma_{сж} K_{оп} ; \quad (2.5)$$

$$E_{деф} = E K_{оп}, \quad (2.6)$$

где $\sigma_{сж}^{ост}$ – остаточная прочность угля или породы, МПа;

$\sigma_{сж}$ - прочность угля или породы в нетронутом массиве, МПа;

$E_{деф}$ - модуль деформации угля или пород в зоне влияния горных выработок, МПа;

E - модуль упругости угля или пород в нетронутом массиве, МПа.

Далее по тексту используются параметры, приведённые в формулах (2.5) и (2.6).

2.3 Характеристика горно-геологических и горнотехнических условий экспериментального участка шахтного поля

Для выбора экспериментальных участков проведения исследований геомеханических процессов и решения научно-практических задач поддержания горных выработок в эксплуатационном состоянии на весьма сближенных пластах проведён анализ условий залегания угольных пластов с балансовыми запасами разрабатываемых и перспективных угольных месторождений Кузбасса. Установлено, что в ближайшие 10-15 лет в Кузбассе произойдёт затухание подземной угледобычи в старопромышленных районах (Прокопьевско-Киселёвский, Анжеро-Судженский, Ленинский, Осинниковский, Байдаевский и др.). Так как, в соответствии с «Долгосрочной программой развития угольной промышленности России до 2030 г.» в Кемеровской области в 2025 г. по оптимистическому варианту должно добываться 230 млн. т, в основном на угольных месторождениях восточного Кузбасса, то целесообразно исследования проводить на новых месторождениях. При этом в качестве перспективных в Кузбассе рассматриваются месторождения Ерунаковского и Караканского геолого-экономических районов. Поэтому основной объём исследований проведён при отработке свиты сближенных угольных пластов в пределах Ерунаковского геолого-экономического района Кузбасса.

В геолого-структурном описании принята часть участка к северо-западному замыканию Ерунаковской мульды. Угленосные отложения залегают в границах участка в виде моноклиальной структуры с общим наклоном толщи 4-6° с постепенным нарастанием по глубине до 10-11°, плавно погружаясь с северо-запада на юго-восток (рис. 2.3). В пределах структуры выявлено восемь геологических нарушений разрывного типа с амплитудой по сместителю 2-80 м, по простираанию 150-2000 м и углами падения 15-50°. Основные притоки воды поступают в выработки при обрушении пород кровли. Высота зоны водопроводящих трещин составляет 60-100 м.

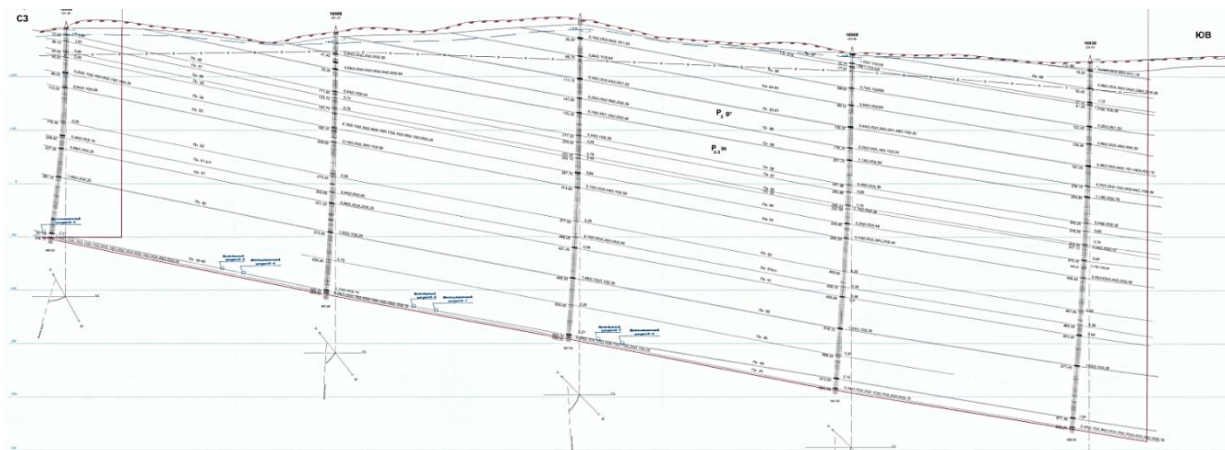


Рис. 2.3. Геологический разрез по экспериментальному участку

Угольные пласты Ерунаковского района, принятые для промышленного освоения, характеризуются изменчивостью по мощности, строению и мощности пород между пластами (табл. 2.1).

Как следует из табл. 2.1, пласты рабочей мощности характеризуются изменчивостью мощности пород междупластья от 0,39 до 113 м, то есть полученные результаты исследований могут быть использованы в широком диапазоне горно-геологических условий угольных месторождений Кузбасса и восточных районов Сибири.

Как известно, на геомеханические и газодинамические процессы существенно влияют литологический состав и физико-механические свойства пород [1, 9, 11, 75-77]. В этой связи проведён анализ изменчивости мощности

и литологии и свойств пород между сближенными пластами Ерунаковского месторождения. Характеристика вмещающих пласты 4, 3, 2 и 1 пород представлена в табл. 2.2.

Табл. 2.1. Характеристика параметров свиты сближенных угольных пластов северо-западного замыкания Ерунаковской мульды

Название пласта*	Мощность пласта, м от-до средняя		Расстояние до вышележащего пласта, м	Количество породных прослоев, шт	Суммарная мощность породных прослоев, от-до средняя, м
	по сумме угольных пачек	по сумме угольных пачек и внутрипластовых породных прослоев			
4	<u>1,09-1,66</u> 1,37	<u>1,23-2,00</u> 1,60	15-19	2-3	<u>0,05-0,59</u> 0,23
3	<u>1,52-2,25</u> 1,90	<u>1,62-2,59</u> 2,08	51-60	1-5	<u>0,00-0,40</u> 0,18
2	<u>1,84-2,65</u> 2,18	<u>1,84-2,65</u> 2,25	97-113	1-4	<u>0,00-0,30</u> 0,07
1	<u>0,75-2,31</u> 1,59	<u>1,05-2,91</u> 1,97	0,39-17	1-6	<u>0,15-0,70</u> 0,38

* - названия пластов условные

В соответствии с проектными решениями к отработке принят пласт 2 (названия пластов условные), горными выработками которого подрабатывается пласт 3 и надрабатывается весьма сближенный пласт 1. Пласты вскрыты наклонными стволами и квершлагами. Система разработки длинными столбами по простиранию с полным обрушением пород кровли и выемкой угля в комплексно-механизированном забое (ДСО). Факторами, выявленными в процессе анализа горно-геологических и горнотехнических условий отработки, осложняющими ведение горных работ, являются: неустойчивые породы кровли, изменчивость мощности и строения пластов, изменчивость мощности и строения пород между пластами, изменчивость физико-механических свойств угля и пород. Проектная мощность шахты до 3000 тыс. т в год при одновременной работе одного очистного забоя и 6-9 подготовительных.

Табл. 2.2. Характеристика вмещающих пород пластов 4, 3, 2 и 1 Ерунаковского месторождения

Название пласта*	Ложная кровля	Непосредственная кровля	Основная кровля	Почва
4	Алевролит мелкозернистый	Алевролит мелкозернистый, 1,0-8,4 м, предел прочности 18-38 МПа	Алевролит крупнозернистый, мощность 3-11 м, предел прочности 42-60 МПа	Алевролит мелкозернистый, мощность более 0,3 м, склонная к пучению
3	Алевролит мелкозернистый, мощность 0,05-0,60 м	Алевролит мелкозернистый, до 10 м, предел прочности 15-35 МПа	Алевролит крупнозернистый, до 30 м, предел прочности 25-35 МПа	Алевролит мелкозернистый, мощность более 0,4 м, склонная к пучению
2	Алевролит мелкозернистый, мощность до 1,0 м	Алевролит мелкозернистый, мощность 1,6-12 м, предел прочности 17-42 МПа	Алевролит крупнозернистый до 30 м, предел прочности 38-53 МПа	Алевролит мелкозернистый, мощность до 0,3 м, склонная к пучению
1	Алевролит мелкозернистый, мощность 0,1-0,7 м	Алевролит мелкозернистый, предел прочности до 20 МПа	Алевролит крупнозернистый до кровли пласта 2	Алевролит мелкозернистый, мощность 0,1-0,6 м, склонная к пучению

* - названия пластов условные

Проведён анализ изменения прочности угля и вмещающих пород на сближенных пластах и установлена зависимость расчётного сопротивления пород между пластами 1 и 2. Расчёт проводился по методике ВНИМИ [26] по формуле:

$$R_{с.п.} = \frac{(R_{c1}m_1 + R_{c2}m_2 + \dots + R_{cn}m_n)k_c k_{вл}}{(m_1 + m_2 + \dots + m_n)}, \quad (2.7)$$

где $R_{c1} \dots R_{cn}$ – сопротивление пород при сжатии, МПа;

$m_1, \dots, m_n$ – мощности слоев пород, залегающих в почве горной выработки, м;

$k_c, k_{вл}$ – коэффициенты, учитывающие нарушенность и обводнённость массива пород.

Зависимость расчётного сопротивления пород при сжатии от мощности пород между пластами представлена на графике рис. 2.4.

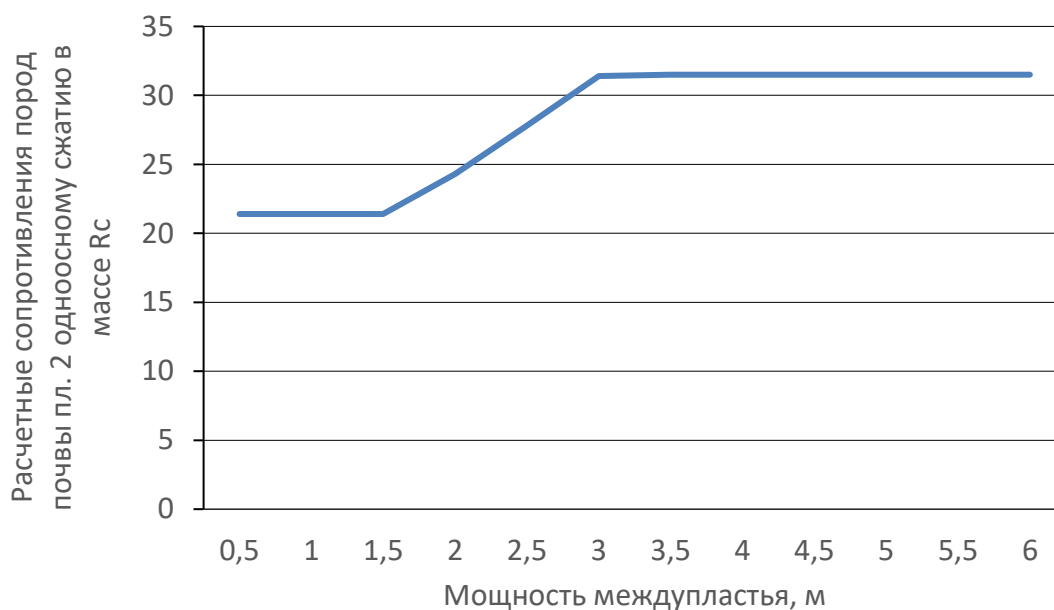


Рис. 2.4. Зависимость расчётного сопротивления пород при сжатии от мощности пород между пластами 1 и 2

Согласно графику рис. 2.4 наиболее интенсивно снижается прочность пород почвы выработок при мощности пород между пластами до трёх метров.

Из результатов анализа приведённых в табл. 2.1 и 2.2, а также сведений на рис. 2.1 – 2.4, следует, что на экспериментальных участках могут быть решены поставленные в настоящей работе задачи.

2.4 Шахтные исследования смещений пород в поддерживаемых выработках при отработке весьма сближенных угольных пластов

Натурные измерения конвергенции кровли и почвы подготовительных выработок проведены на экспериментальном участке общей длиной более 2 км (результаты исследований представлены в Приложении 1). Всего

проведены исследования на 162 замерных станциях. 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 составляет в районе фланговых наклонных стволов 0,5 м и увеличивается до 15,0 м при продвижении к центральным уклонам (рис. 2.5). Природная относительная метаноносность пласта 2 на рассматриваемом участке составляет 0 - 20,5 м³/т с.б.м. Глубина разработки 450-500 м (рис. 2.6).

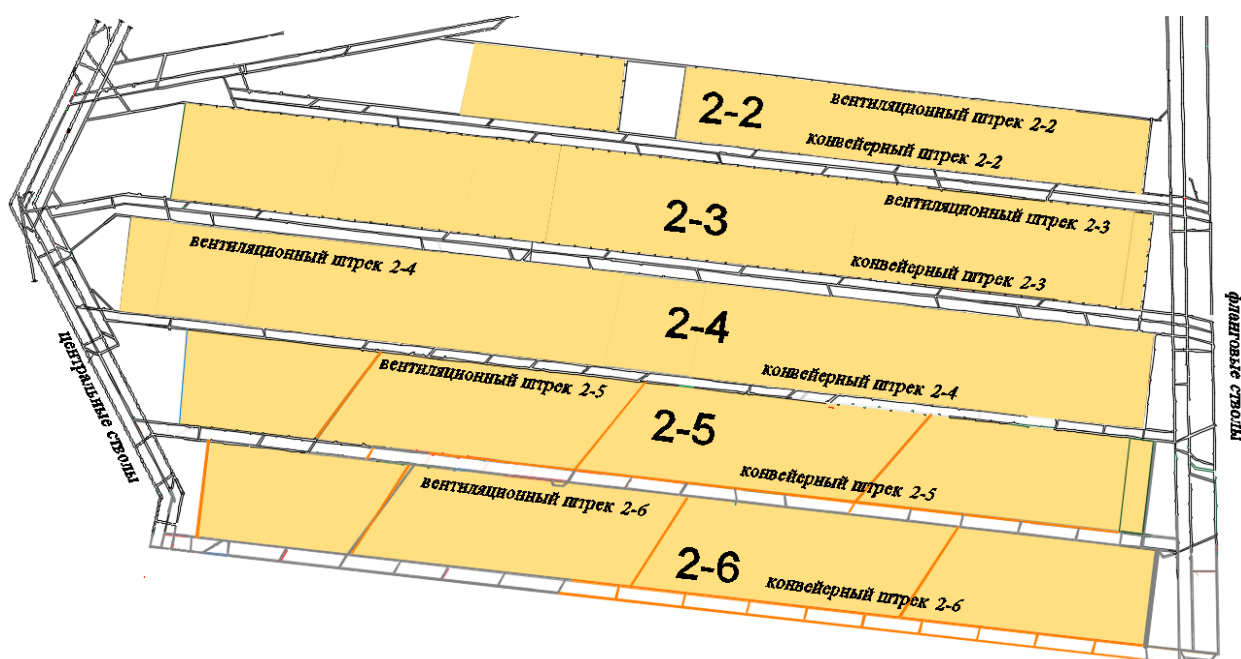


Рис. 2.5. Схема горных выработок по пласту 2 экспериментального участка

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). Принят механизированный комплекс в комплекте: механизированная крепь Glinik-13/28, комбайн KSW-460NE, скребковый конвейер Rybnik-850, штрековый перегружатель GROT-850, дробилка Scorpion-1800P.

В ходе шахтных наблюдений по мере отработки выемочных участков 2-3 и 2-4 установлены закономерности изменения пучения пород почвы в зависимости от мощности пород междупластья. Анализ условий залегания и отработки пласта 2 на поле шахты показал, что безопасная отработка пласта будет осложнена наличием целого ряда негативных факторов:

- увеличение глубины разработки по мере вовлечения в отработку новых выемочных участков (2-5, 2-6);
- наличие неустойчивых пород почвы, склонных к пучению;
- наличие геологических нарушений, осложняющих ведение горных работ;
- переменная мощность пород между пластами 2-1 и др.

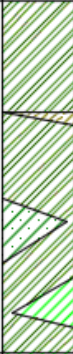
Наименование слоя	Колонка	Литотип	Порода	Физико-механические свойства				Устойчивость, обрушаемость			Содержание SiO ₂ , %
				Мощность, м	Объем. вес., т/м ³	Кэф. креп.	Сопрот. сжат., МПа	Тип кровли	Допуст. площадь обнаж., м ²	Допуст. время обнаж., мин	
Основная кровля		Ал м/з, Ал кр/з, АП	Алевролит мелкозернистый, алевролит крупнозернистый, алевропесчаник	10,0-26,6	2,60	5-9	50-90	Ср.О.	-	-	30-40 и более 40
Непосредственная кровля		Ал м/з	Алевролит мелкозернистый	7,0-8,4	2,60	3-4	30-40	Ср.У.	5	до 1 часа	30-40
"Ложная" кровля		Ал м/з, У	Алевролит мелкозернистый	уголь 0,2-1,0	2,60	2,5-3,5	25-35	Весьма Н.У.	0,5	5	менее 10
Пласт 2		У	Уголь	2,06-2,41/2,19	1,26	1	10	-	-	-	
"Ложная" почва		Ал м/з	Алевролит мелкозернистый	0,2-0,5	2,60	2,5-3,5	25-35	склонна к пучению	-	-	30-40
Непосредственная почва		Ал м/з	Алевролит мелкозернистый	0,5-7,0	2,60	3-4	30-40		-	-	30-40
Пласт 1		У	Уголь	1,70-2,23/1,91	1,28	1	10	-	-	-	менее 10
Непосредственная почва		Ал м/з	Алевролит мелкозернистый	5,0-7,8	2,60	3-4	30-40	-	-	-	30-40
Основная почва		Пер. ал м/з, с ал кр/з	Переслаивание алевролита мелкозернистого с алевролитом крупнозернистым	8,3-9,5	2,60	3,5-4	31-40	-	-	-	30-40

Рис. 2.6. Литологическая колонка сближенных пластов 2 и 1 на экспериментальном участке

Шахтные исследования влияния изменчивости мощности пород между пластами 2 и 1 на устойчивость подготовительных выработок проводились при подготовке и отработке выемочных столбов 2-2, 2-3, 2-4, 2-5 пласта 2 (см. рис. 2.3, 2.4). Подготовительные выработки в соответствии с паспортом выемочного участка пройдены высотой 4,0 м, шириной 5,5 м, в кровле штрека установлены анкера типа АСП-20В длиной 2,5 м, в каждый бок по 3 анкера типа АСП-20В длиной 1,8 м.

В процессе шахтных исследований изучалось влияние на устойчивость выработок следующих факторов:

- глубины разработки по мере вовлечения в отработку новых выемочных участков (2-5, 2-6);
- устойчивости пород почвы, склонных к пучению;
- пространственного положения геологических нарушений, осложняющих ведение горных работ;
- мощности пород между пластами 2-1;
- водопритока в подготовительные выработки и др.

По результатам маршрутной съёмки формы и измерений размеров поперечного сечения подготовительных выработок построены эскизы и выявлены следующие виды разрушения горных пород (рис. 2.7).

В процессе проведения вентиляционного штрека 2-5 (рис. 2.7, а) состояние пород на контуре выработки было удовлетворительным. Выявлено появление воды на почве выработки, что способствовало размоканию глинистых пород почвы и явилось одной из причин их пучения. Начало процесса пучения проявилось в виде продольной трещины в середине выработки (рис. 2.7, б), подъёма пород почвы по берегам трещины. Одновременно увеличивался водоприток с проникновением воды по трещинам в сторону падения пласта, что привело к интенсивному пучению пород почвы и отжиму угля и пород с левого (в сторону восстания пласта) бока выработки (рис. 2.7, в, г). По мере увеличения мощности пород между пластами 2 и 1 интенсивность пучения пород снижалась (рис. 2.7, г).

Аналогичные исследования характера деформирования пород в окрестности подготовительных выработок проведены при поддержании в зоне опорного горного давления вентиляционного штрека 2-4 (рис. 2.8). Характерной особенностью экспериментального участка является многоштрековая подготовка выемочного столба конвейерным штреком 2-3, вентиляционным штреком 2-4 и вентиляционным штреком 2-4 бис [21, 61].

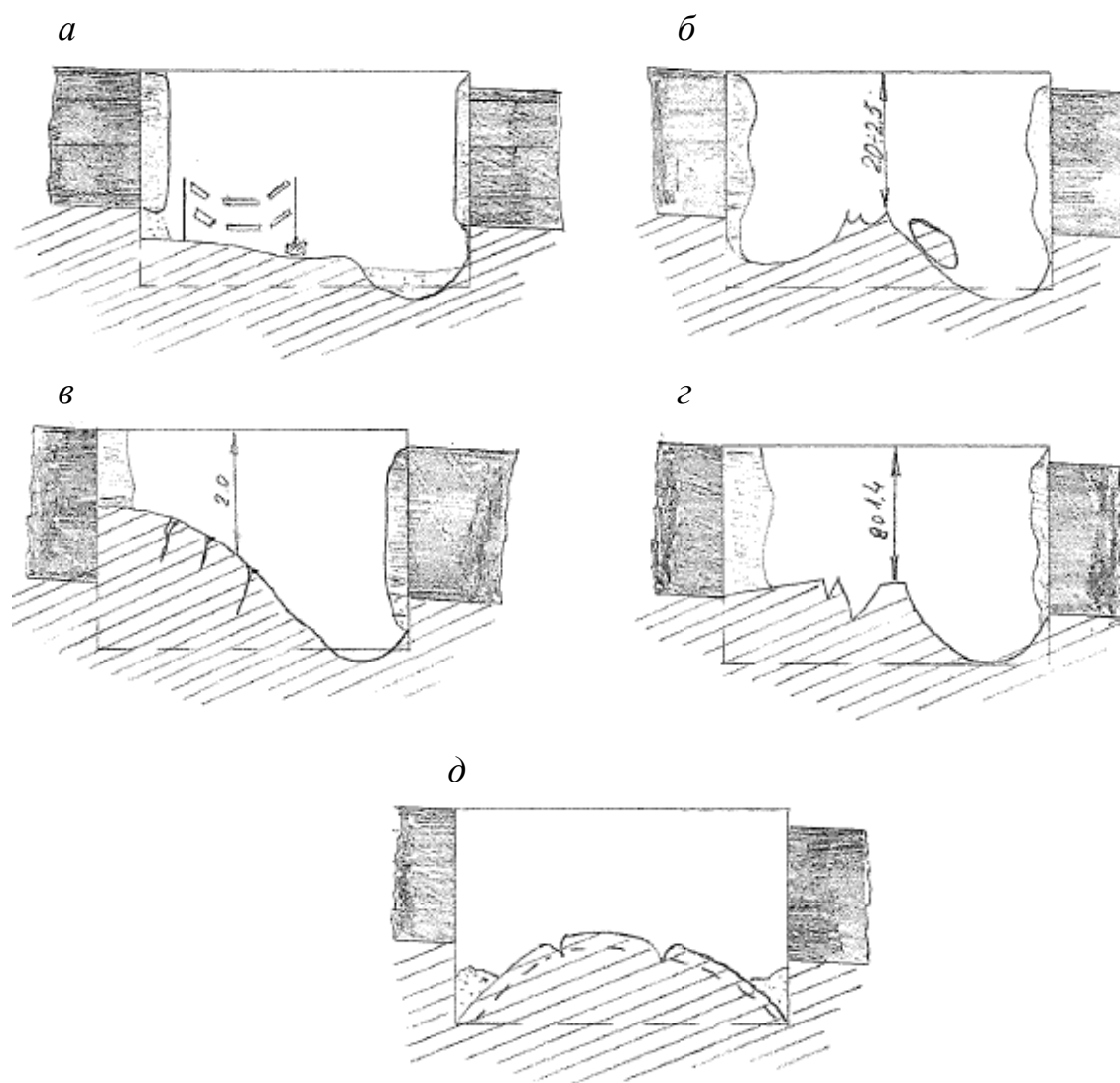


Рис. 2.7. Фрагменты результатов инструментально-визуальных наблюдений деформаций контура вентиляционного штрека 2-5: а – в интервале 180-210 м от монтажной камеры; б – в интервале 500-650 м от монтажной камеры; в – 580 м от монтажной камеры; г – в интервале 600-1000 м от монтажной камеры; д – 1340 м от монтажной камеры

На рис. 2.8 показано изменение высоты вентиляционного штрека 2-4 при разной мощности пород между пластами 2 и 1, влияние выработанного пространства ранее отработанного выемочного столба 2-3. Изменение высоты вентиляционного штрека 2-4 произошло, в основном, за счёт пучения пород почвы выработки (см. рис. 2.7). Выявлено влияние на интенсивность смещения пород почвы выработки двух основных факторов: расстояния от лавы до наблюдательной станции и мощности пород между весьма сближенными пластами 2 и 1.

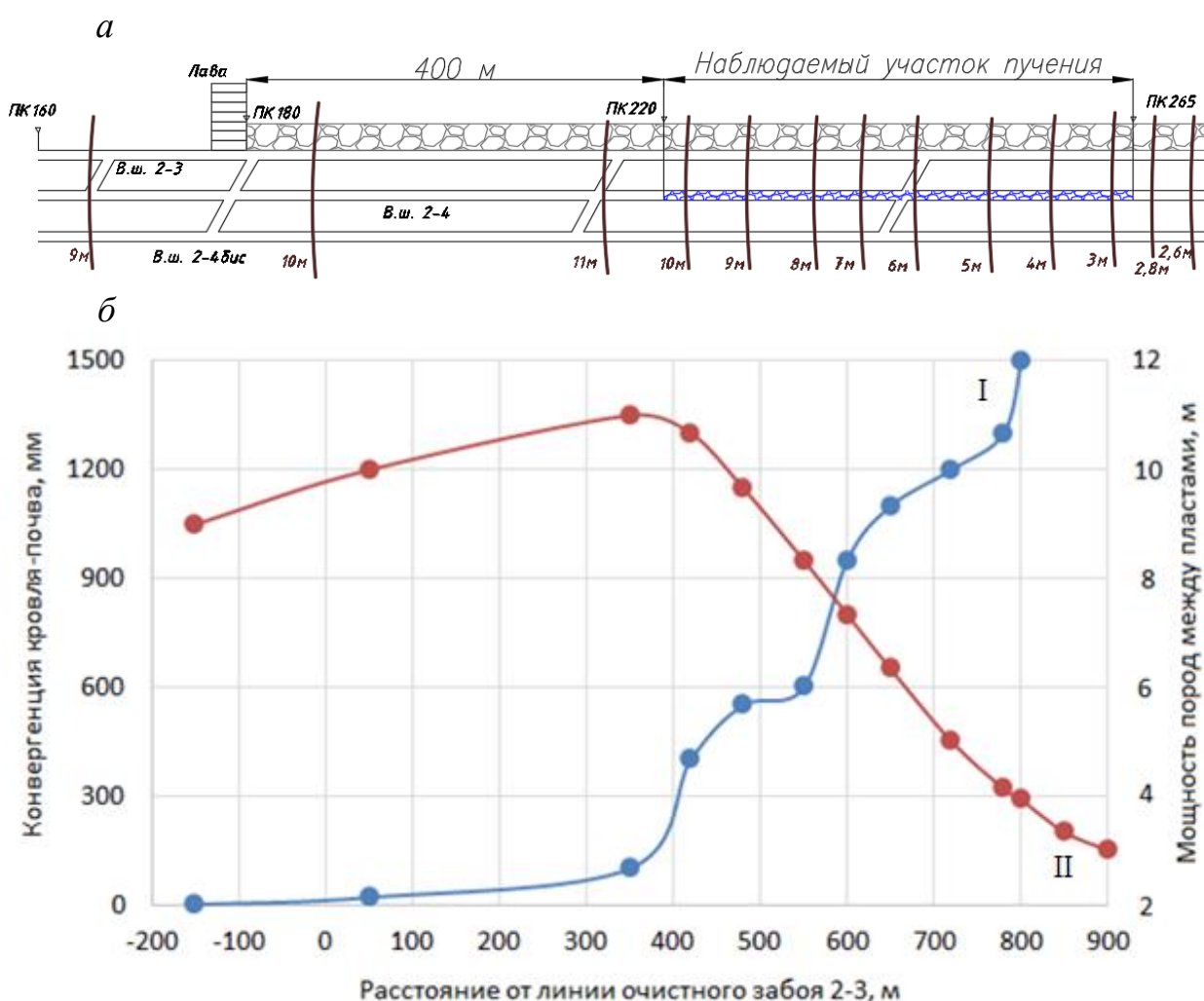


Рис. 2.8. Выкопировка с плана горных работ (а) и графики изменения конвергенции кровля-почва вентиляционного штрека 2-4 (I) и мощности пород между пластами 2 и 1 (II) (б)

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

Проведены исследования при одноштрековой и многострековой подготовке выемочных столбов. 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 многострековой подготовкой выемочных столбов 2-3 и 2-4 (см. рис. 2.5) двумя вентиляционными штреками (вентиляционный и вентиляционный бис).

Однозначно установлено (рис. 2.9), что увеличение глубины разработки (Н), при прочих равных условиях, приводит к увеличению конвергенции кровли-почвы и боков штреков, однако влияние этого фактора в пределах Н=400-600 м на устойчивость выработок несущественное по сравнению с влиянием изменчивости мощности и прочности пород между весьма сближенными пластами.

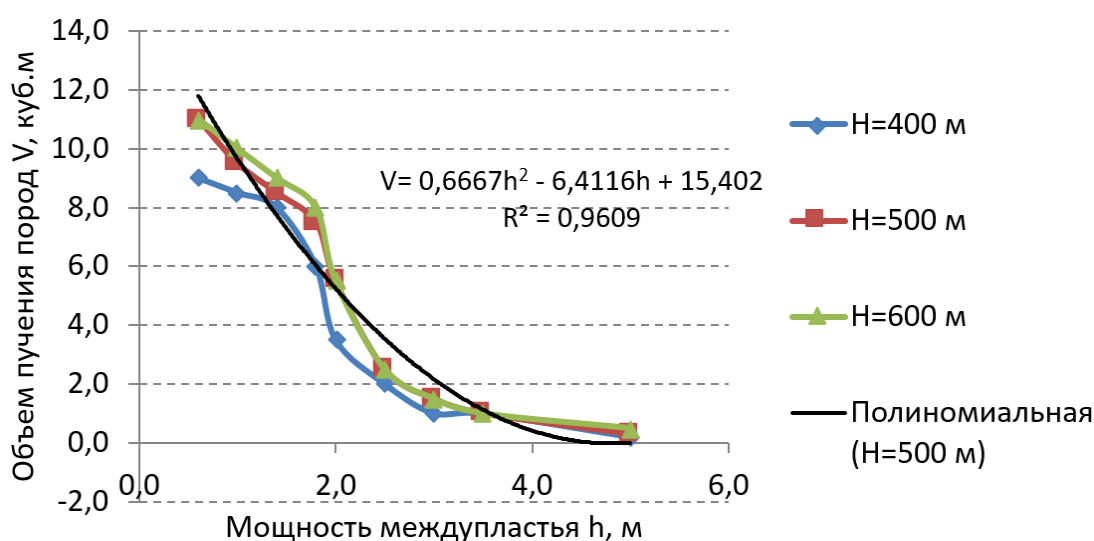


Рис. 2.9. Графики зависимости объёма пучения пород (V) от мощности пород между весьма сближенными пластами (h), H – глубина разработки, м

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. 2.10.

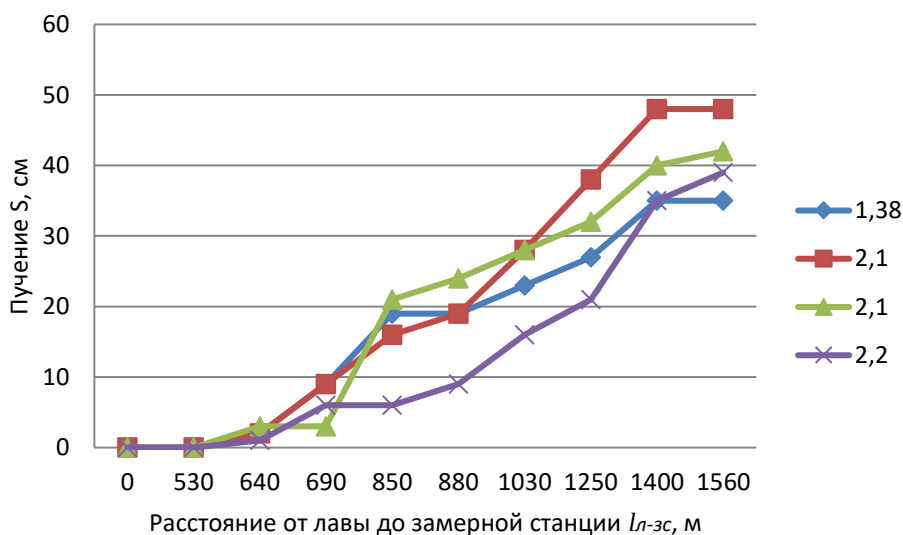


Рис. 2.10. Вспучивание пород почвы вентиляционного штрека 2-5 при различной мощности между пластами 2 и 1

Уравнение множественной зависимости пучения пород почвы при мощности междупластья 1,38-2,2 м от указанных факторов на рис. 2.10 имеет следующий вид:

$$\hat{s} = -12,46 + 0,93 \times h_{мл} + 0,032 \times l_{л-зс}, \quad (2.8)$$

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

$h_{мл}$ – мощность пород междупластья, м;

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

Формула (2.8) справедлива при ограничениях: $1,38 < h_{мл} < 2,2$ м; $530 < l_{л-зс} < 1560$ м.

Математическая модель оценена через F -критерий Фишера, коэффициент детерминации [90]. Расчетный F -критерий Фишера равен 78,25, табличное значение F -критерия при числе степеней свободы 2 и 78 и уровне

значимости 0,05 составляет $_{0,05}F_{2,78}=3,11$. Значимость F составляет 5,11Е-11. Коэффициент детерминации $R^2=0,809$.

Фактическое значение F превышает табличное, значимость F меньше уровня значимости, следовательно, можно сделать вывод, что уравнение регрессии статистически значимо, исследуемая зависимость достаточно хорошо описывается включенными в регрессионную модель переменными. Коэффициент детерминации $R^2=0,809$, то есть вариация $\hat{s}$ на 80,9% объясняется изменениями показателей $h_{мл}$ и $l_{л-зс}$. Множественный коэффициент корреляции – 0,899. Подробная информация о результатах регрессионного анализа приведена в Приложении 2.

Сравнение расчётных и фактических величин пучения пород почвы вентиляционного штрека 2-5 качественно подтверждают адекватность эмпирической зависимости (2.8).

По результатам шахтных исследований влияния пространственной мощности пород между сближенными пластами, глубины разработки и расстояния до очистного забоя на устойчивость поддерживаемых выработок при отработке весьма сближенных угольных пластов выявлены следующие закономерности и зависимости:

- обратно пропорциональная нелинейная зависимость объёма пучения пород в штреках от мощности пород пределах 1,38-2,2 м между весьма сближенными пластами 1 и 2;

- безремонтное состояние параллельной выработки, охраняемой угольным целиком шириной 30 м, впереди очистного забоя обеспечивается при расстоянии $s_1 > l$ и мощности пород между сближенными пластами более $h > 2$ м, где s_1 – расстояние от линии очистного забоя до рассматриваемого сечения подготовительной выработки, h – мощность пород междупластья, l – ширина зоны опорного давления;

- изменение глубины разработки в пределах 400-600 м не приводит к существенному увеличению площади пучения пород в поперечных сечениях вентиляционных штреков, охраняемых угольным целиком шириной 30 м;

– площадь пучения пород в поперечных сечениях вентиляционных штреков, охраняемых угольным целиком шириной 30 м, при изменении расстояния до линии очистного забоя в пределах 530-1500 м увеличивается почти линейно и достигает 50% от проектного сечения штрека;

– эффективность многоштрековой подготовки выемочных участков подтверждается уменьшением пучения пород почвы в 1,7-2,1 раза по сравнению с двухштрековой подготовкой и обеспечением возможности совмещения ведения очистных работ и ремонта параллельных вентиляционных штреков.

2.5 Аналитические исследования смещений пород в поддерживаемых выработках при отработке весьма сближенных угольных пластов

Учитывая, что в натурных условиях реализовать по техническим и экономическим условиям множество вариантов с изменением значимых по результатам шахтных наблюдений факторов не представляется возможным, то для исследования зависимостей смещений пород в поддерживаемых выработках при отработке весьма сближенных угольных пластов принят численный метод конечных элементов. Алгоритм решения задачи прогноза параметров напряжённо-деформированного состояния углепородного массива в окрестности подготовительных и очистных забоев изложен в параграфе 2.1 настоящей работы (см. рис. 2.1). Для исследования использован пакет компьютерных программ, разработанный на кафедре геотехнологии СибГИУ [72]. В диссертации проведена адаптация пакета к условиям экспериментального участка и поставленным научно-исследовательским задачам.

Настройка входных параметров численной модели осуществлялась по результатам шахтных измерений конвергенции кровли и почвы выемочных

штреков (Приложение 1) при многоштрековой подготовке и отработке выемочных участков (см. рис. 2.5). При отсутствии результатов шахтных наблюдений использовались типовые смещения пород на контуре выработки, принятые по Инструкциям [26, 31].

На рис. 2.11 показаны результаты настройки численной модели по результатам измерений смещений контура одиночной выработки без учёта влияния зависящих пород кровли над очистным выработанным пространством. При использовании фактических смещений контура выработки использовалась упруго-пластическая модель углепородного массива.

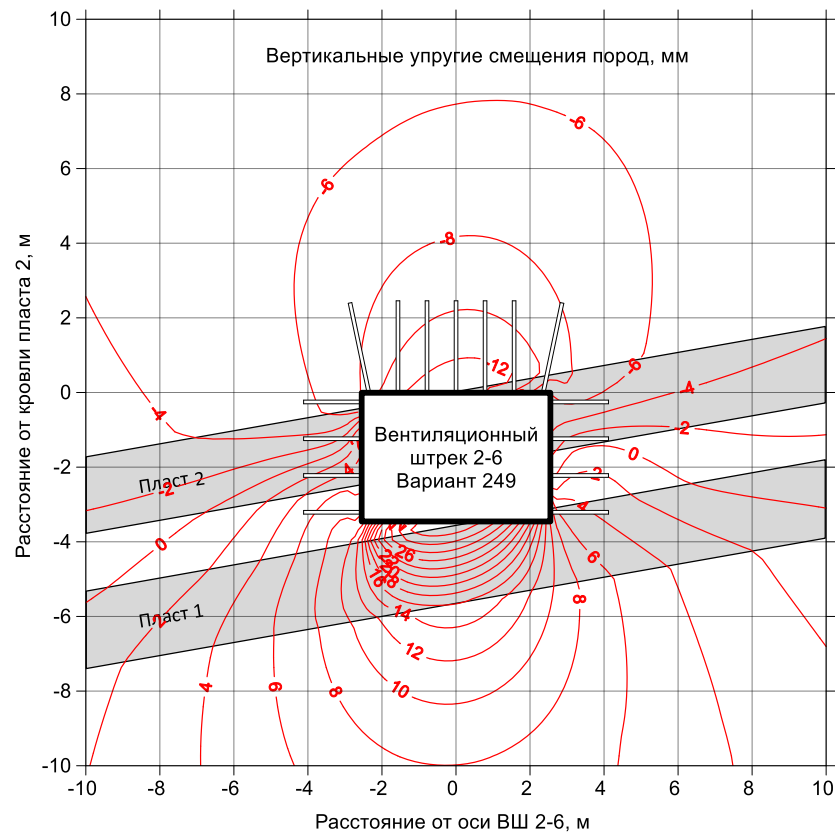
Из рисунка следует, что формы распределения изолиний вертикальных смещений по результатам решения задачи теории упругости и упруго-пластической задачи после настройки входных параметров совпадают. Однако величины смещений, вычисленные по упругой и упруго-пластической моделям, существенно отличаются (табл. 2.3).

Табл. 2.3. Сравнение величин смещений (мм) пород кровли и почвы вентиляционного штрека 2-5

Наименование параметра	Упругие W_y	Упруго- пластические $W_{уп}$	Отношение $W_{уп}/W_y$
Смещения пород кровли, мм	12	50	4,2
Пучение пород почвы, мм	32	750	23,4
Конвергенция пород кровли и почвы	44	800	18,2

Из табл. 2.3 и рис. 2.11 следует, что после настройки модели по нормативным документам величины смещений пород кровли и почвы выработки соответствуют натурным измерениям, указанным на рис. 2.9 и 2.10, отклонения составляют 8-14%.

a



б

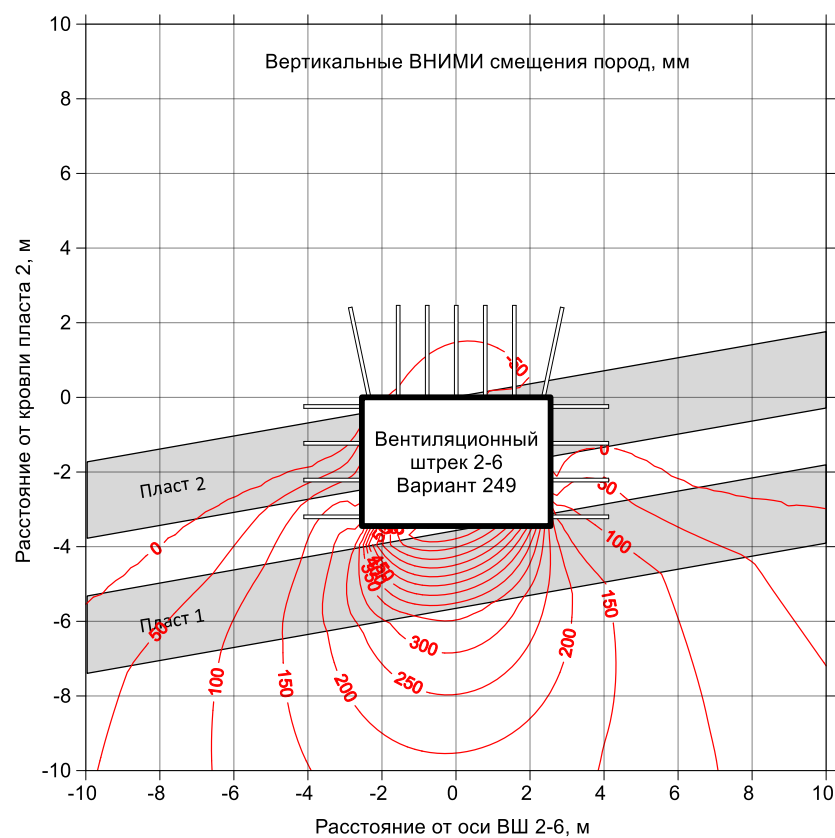


Рис. 2.11. Изолинии распределения вертикальных смещений (мм) при упругом деформировании пород (а) и после настройки по типовым смещениям нормативных документов (б)

Результаты решения упруго-пластической задачи более соответствуют реальным условиям. Это можно объяснить использованием отношения остаточной прочности угля и пород к исходной, вычисленного по методике, приведённой в параграфе 2.2 настоящей работы. Породы почвы под влиянием предельных напряжений переходят в запредельное состояние более интенсивно по сравнению с породами кровли, что подтверждается графиками распределения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной, приведёнными на рис. 2.12.

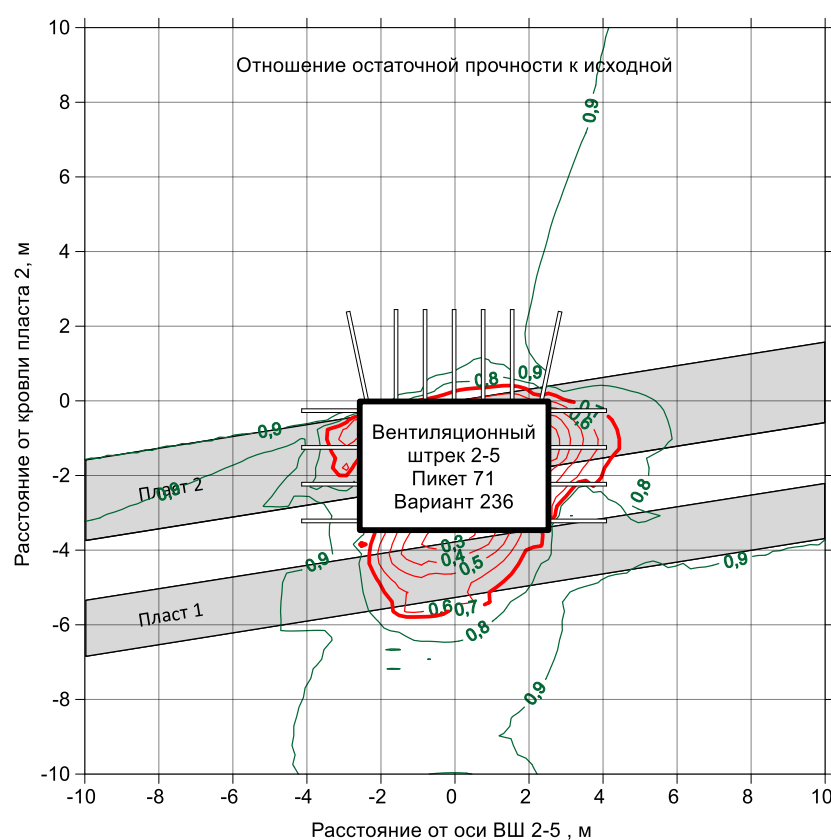


Рис. 2.12. Изолинии распределения отношения остаточной прочности к исходной в окрестности вентиляционного штрека 2-5 при мощности пород между пластами 1,6 м, скважина №16589, пикет 71

На основе многочисленных результатов моделирования и сравнения их с натурными исследованиями установлено, что при отношении остаточной прочности к исходной $K_{on} > 0,7$ уголь и порода находятся в упругом состоянии, в интервале при $0,5-0,7$ уголь и порода находятся в упруго-пластическом

состоянии, а при $K_{on} < 0,5$ – запредельном. В соответствии с указанными критериями на рис. 2.12 выделены соответствующие зоны.

Форма и размеры зоны пород и угля в запредельном состоянии подтверждают существенное влияние нижнего пласта и угла падения пластов в свите. Ширина зоны запредельного состояния на рис. 2.12 оказалась больше длины анкеров в боку выработки в сторону восстания пласта. Это привело к отжиму угля в штреке с висячей стороны пласта, что подтверждается результатами инструментально-визуальных наблюдений в шахте (см. рис. 2.7).

По изложенной методике проведено моделирование 260 вариантов и выполнена оценка состояния штреков при разной мощности пород между пластами. По результатам численного эксперимента выявлены формы и размеры зон запредельного состояния угля и пород, величины вертикальных и горизонтальных смещений контура, вертикальных и горизонтальных напряжений при разных вариантах расположения выработок и сближенных пластов. На рис. 2.13 в качестве примера приведены изолинии распределения вертикальных и горизонтальных смещений угля и пород в окрестности вентиляционного штрека при мощности пород между пластами 1,5 м, а обобщённые результаты моделирования по наиболее представительным вариантам показаны в табл. 2.4.

В табл. 2.4 принято следующее правило знаков: оседания отрицательные, пучение положительное, горизонтальные смещения в сторону падения пласта отрицательные, горизонтальные смещения в сторону восстания пласта положительные.

По результатам численного моделирования методом конечных элементов и оценки соответствия расчётных геомеханических параметров измеренным выявлены следующие закономерности распределения параметров напряжённо-деформированного состояния при изменении мощности пород между пластами:

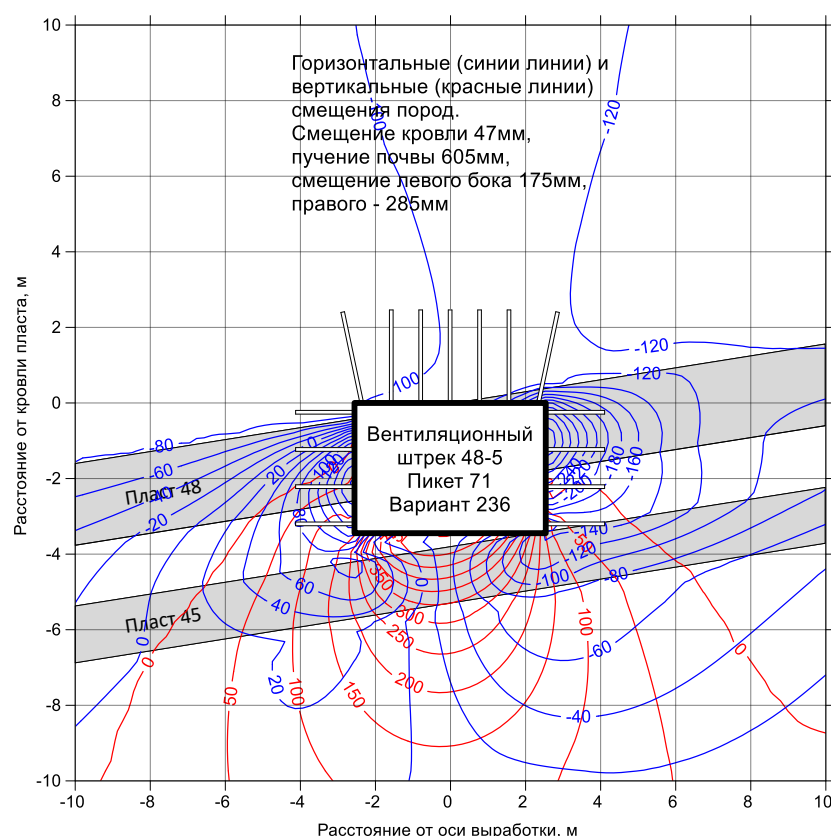


Рис. 2.13. Изолинии распределения вертикальных (красные линии) и горизонтальных (синие линии) смещений (мм) угленородного массива при мощности пород между пластами 1,5 м

Табл. 2.4. Сравнительная оценка параметров напряжённо-деформированного состояния угленородного массива в окрестности вентиляционного штрека 2-5 при мощности пород между пластами 0,7 и 1,5 м

Наименование параметра	Мощность пород между пластами, м	Положение точки на контуре выработки			
		кровля	почва	левый бок (на стороне падения пласта)	правый бок (на стороне восстания пласта)
Вертикальные смещения, мм	0,7	-50	750	100	0
	1,5	-47	605	50	0
Горизонтальные смещения, мм	0,7	-170	0	267	-467
	1,5	-110	-20	180	-300
Отношение остаточной прочности к исходной	0,7	0,6	0,2	0,7	0,3
	1,5	0,7	0,3	0,8	0,3
Вертикальные напряжения, МПа	0,7	-0,5	0	-8	-9
	1,5	-0,5	0	-8	-7
Горизонтальные напряжения, МПа	0,7	-10	-1	0	2
	1,5	-8	-4	0	0

– при увеличении мощности пород междупластья пучение пород в выработках снижается по обратно пропорциональной зависимости, что подтверждает выводы, полученные по результатам шахтных измерений, приведенных в параграфе 2.3 настоящей работы;

– впервые установлено влияние мощности пород между пластами на характер распределения горизонтальных смещений контура выработки: породы кровли и почвы выработки смещаются по линии падения пласта, а боков – к центру выработки. Интенсивность смещений боков выработки увеличивается почти в 1,5 раза при уменьшении мощности пород между пластами в 2 раза;

– отношение остаточной прочности к исходной по всему контуру выработки снижается при уменьшении мощности пород между пластами, что соответствует результатам шахтных исследований (см. рис. 2.7, 2.8);

– изменение мощности пород между пластами не оказывает существенного влияния на характер и величины распределения вертикальных и горизонтальных напряжений, при уменьшении мощности со стороны восстания пласта выявлены растягивающие напряжения, которые способствуют увеличению ширины зоны отжима угля, и требуется установка анкеров длиной больше ширины этой зоны.

2.6 Выводы

По результатам исследований во второй главе обоснованы следующие выводы и рекомендации:

– алгоритм моделирования напряжённо-деформированного состояния углепородного массива с настройкой входных параметров модели по результатам натурных измерений или рекомендаций нормативных документов обеспечивает прогноз смещений пород в поддерживаемых выработках, отличающихся от измеренных в пределах $\pm 8-14\%$;

- разработанная методика определения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной при наличии полной диаграммы напряжения-деформации обеспечивает решение упруго-пластической задачи геомеханики посредством перерасчёта модуля упругости в секущий модуль деформации;

- установлено, что отношение остаточной прочности угля и пород к исходной $K_{оп}$ изменяется в интервале 0,2 -1,0. $K_{оп}=1$ выявлен в пределах ниспадающей ветви зоны опорного горного давления, а на контуре выработок $K_{оп} \rightarrow 0$, что подтверждается отжимом угля с боков угольных целиков и выработок;

- прочность пород почвы выработок наиболее интенсивно снижается при мощности пород между пластами до трёх метров;

– выявлена обратно пропорциональная нелинейная зависимость объёма пучения пород в штреках от мощности пород пределах 1,38-2,2 м между весьма сближенными пластами 1 и 2;

– безремонтное состояние параллельной выработки, охраняемой угольным целиком шириной 30 м, впереди очистного забоя обеспечивается при расстоянии $s_1 > l$ и мощности пород между сближенными пластами более $h > 2$ м, где s_1 – расстояние от линии очистного забоя до рассматриваемого сечения подготовительной выработки, h – мощность пород междупластья;

– изменение глубины разработки в пределах 400-600 м не приводит к существенному увеличению площади пучения пород в поперечных сечениях вентиляционных штреков, охраняемых угольным целиком шириной 30 м;

– площадь пучения пород в поперечных сечениях вентиляционных штреков, охраняемых угольным целиком шириной 30 м, при изменении расстояния до линии очистного забоя в пределах 530-1500 м увеличивается почти линейно и достигает 50% от проектного сечения штрека;

– эффективность многоштрековой подготовки выемочных участков подтверждается уменьшением пучения пород почвы в 1,7-2,1 раза по сравнению с двухштрековой подготовкой и обеспечением возможности

совмещения ведения очистных работ и ремонта параллельных вентиляционных штреков;

– методика численного моделирования и оценки состояния штреков обеспечивает прогноз смещений контура горных выработок, объёма отжатого угля с боков выработки и пучения пород почвы при интегральном влиянии изменяющихся величин глубины разработки, мощности пород между пластами и ширины ленточного целика между выработкой и очистным выработанным пространством.

В соответствии с результатами моделирования 260 вариантов различных сочетаний горно-геологических и горнотехнических факторов выявлены следующие закономерности распределения параметров напряжённо-деформированного состояния при изменении мощности пород между пластами:

– при увеличении мощности пород междупластья пучение пород в выработках снижается по обратно пропорциональной зависимости, что подтверждает выводы, полученные по результатам шахтных измерений;

– установлено влияние мощности пород между пластами на характер распределения горизонтальных смещений контура выработки: породы кровли и почвы выработки смещаются по линии падения пласта, а боков – к центру выработки. Интенсивность смещений боков выработки увеличивается почти в 1,5 раза при уменьшении мощности пород между пластами в 2 раза;

– отношение остаточной прочности к исходной по всему контуру выработки снижается при уменьшении мощности пород между пластами, что соответствует результатам шахтных исследований.

3 ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА ПРИ ПОДГОТОВКЕ И ОТРАБОТКЕ ВЕСЬМА СБЛИЖЕННЫХ ПЛАСТОВ

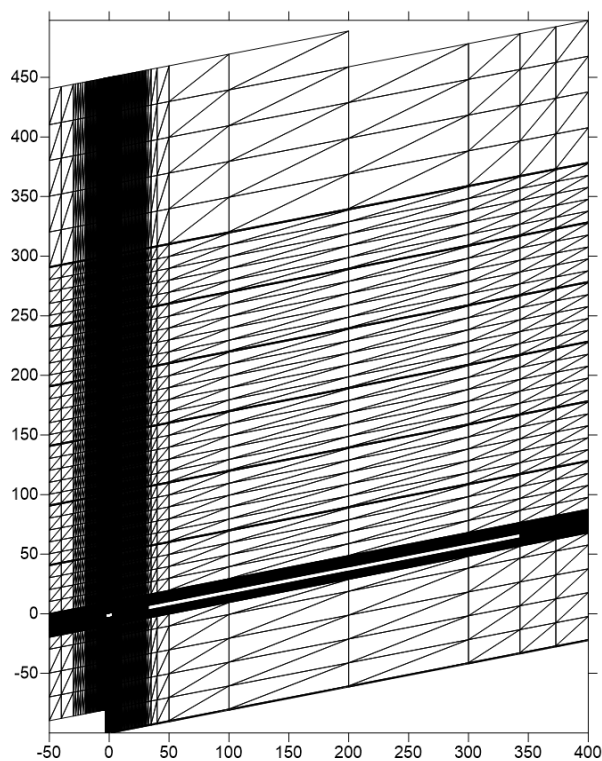
В третьей главе выявлены закономерности распределения напряжений, смещений, отношения остаточной прочности угля и пород к исходной, а также обоснованы геомеханические параметры, обеспечивающие устойчивость подготовительных выработок в эксплуатационном состоянии при многоштрековой подготовке и отработке выемочных столбов с учётом влияния очистного выработанного пространства на весьма сближенных пластах.

При исследовании учтено влияние на устойчивость выработок мощности и прочности пород между весьма сближенными пластами, размеров очистного выработанного пространства нескольких соседних выемочных участков.

Для выявления закономерностей распределения напряжений, смещений, отношения остаточной прочности угля и пород к исходной в окрестности подготовительных выработок и очистного выработанного пространства при подготовке и отработке весьма сближенных угольных пластов использован алгоритм, приведённый на рис. 2.1 настоящей работы, с оценкой соответствия полученных результатов моделирования по натурным измерениям, систематизированным в параграфе 2.4 и Приложении 1.

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 $K_{оп} = \frac{\sigma_{сж}^{ост}}{\sigma_{сж}}$ согласно формуле (2.5), вертикальные W и горизонтальные V смещения

a



б

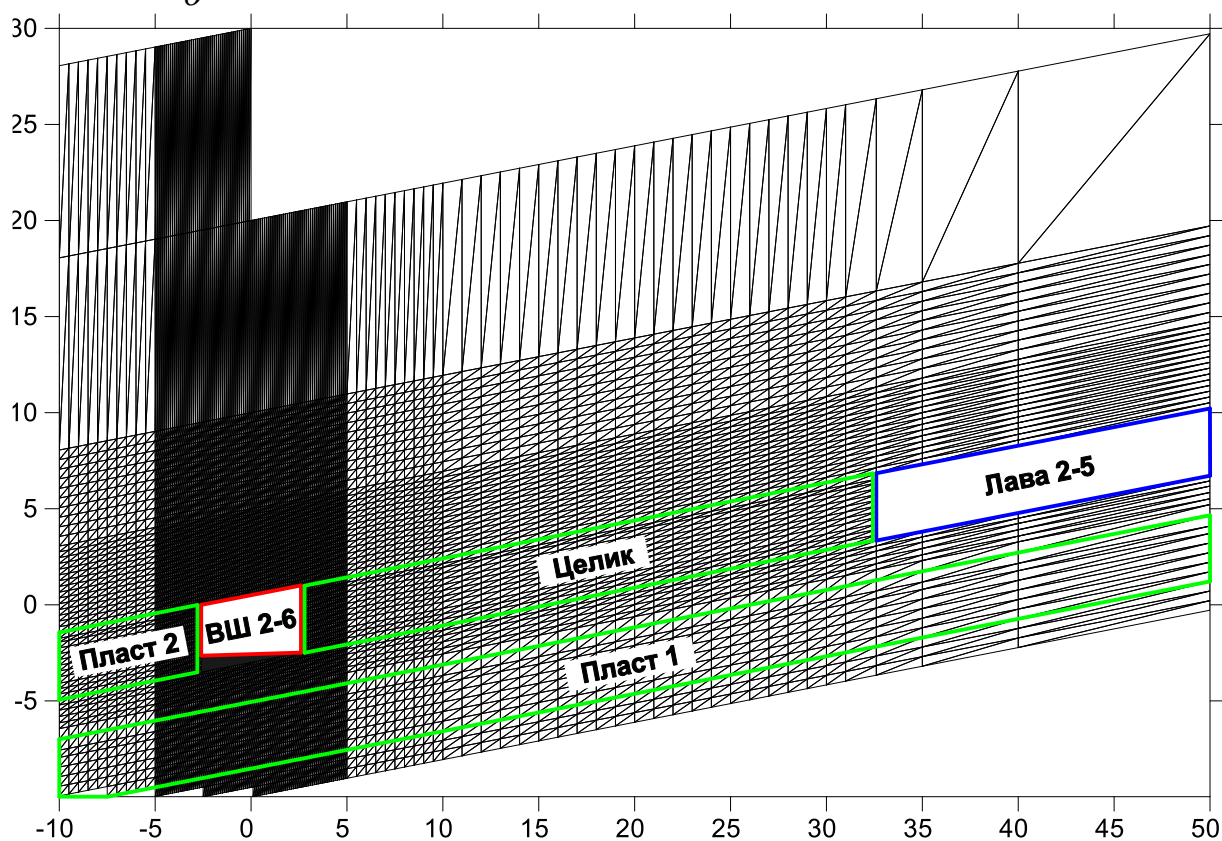


Рис. 3.1. Расчётная схема вариантов исследования влияния ширины целика и мощности пород между сближенными пластами: а – общий вид модели горного массива и выработку; б – фрагмент горного массива в окрестности вентиляционного штрека 2-6 и лавы 2-5

(мм), вертикальные σ_z и горизонтальные напряжения σ_x (МПа). Всего проведено моделирование 50 вариантов.

На рис. 3.1 представлена общая расчётная схема в виде вертикального разреза по падению свиты пластов. Выемочный участок 2-5 ранее отработан, длина лавы 300 м. Вентиляционный штрек 2-6 охраняется ленточным угольным целиком, ширина которого при моделировании изменяется в пределах 20-40 м. Мощность пород между сближенными пластами при моделировании изменялась в пределах 1,4-5,0 м. Деление расчётной модели на конечные элементы неравномерное: в окрестности вентиляционного штрека 2-6 принята длина стороны треугольника 0,2 м, а за пределами зоны влияния выработанного пространства – до 10 м. Такая дискретизация модели позволяет получить с достаточной для практики точностью геомеханические параметры. На рис. 3.1 черная область соответствует размерам конечных элементов 0,2 - 1,0 м.

Далее анализ и обсуждение результатов моделирования осуществляется по параметрам напряжённно-деформированного состояния горного массива.

3.1 Закономерности распределения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной в окрестности очистных и подготовительных выработок на весьма сближенных пластах

На рис. 3.2 показано изменение отношения остаточной прочности угля и пород к исходной $K_{пр} = \frac{\sigma_{сж}^{ост}}{\sigma_{сж}}$ при переменной мощности пород между пластами и ширине целика 30 м. Как следует из рис. 3.2, влияние мощности пород между сближенными пластами при постоянной ширине целика проявляется в виде следующей закономерности. При уменьшении мощности пород между пластами происходит постепенное слияние зон упруго-пластического деформирования горных пород и сближенных пластов 2 и 1, то есть при междупластье меньше 3 м следует рассматривать для обоснования

параметров технологических схем единую интегральную систему: сближенные пласты, вмещающие породы и пространственное положение очистных и подготовительных выработок.

Нагруженный угольный целик верхнего пласта является штампом для нижнего пласта, что приводит к разрушению угля в надрабатываемом пласте даже при мощности пород между пластами более 5 м. Эта закономерность проявляется в виде интенсивного выделения (прорыва) метана в выработки верхнего пласта. Такие процессы неоднократно фиксировались при отработке свиты пластов Байдаевского месторождения на шахтах «Юбилейная», «Абашевская» [78]. Одной из причин залпового выделения метана является изменение пористости и коэффициента фильтрации угля надрабатываемого пласта. Этот процесс описан в работе В.А. Колмакова, в где процесс объясняется переходом газа из сорбированного состояния в свободное, при котором метан выделяется в горные выработки [79].

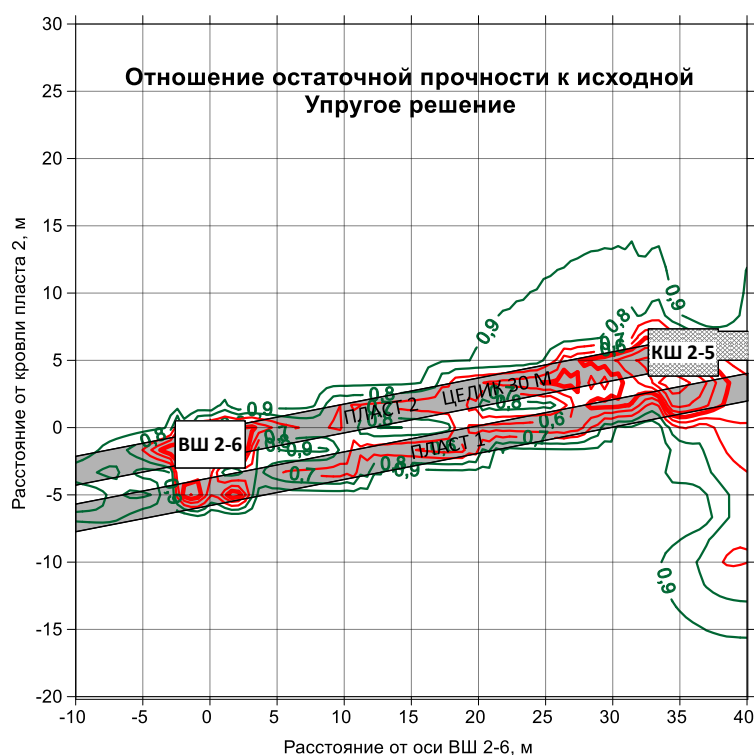


Рис. 3.2,а. Изолинии распределения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной прочности при охране вентиляционного штрека 2-6 целиком шириной 30 м при мощности пород между пластами 1,4 м

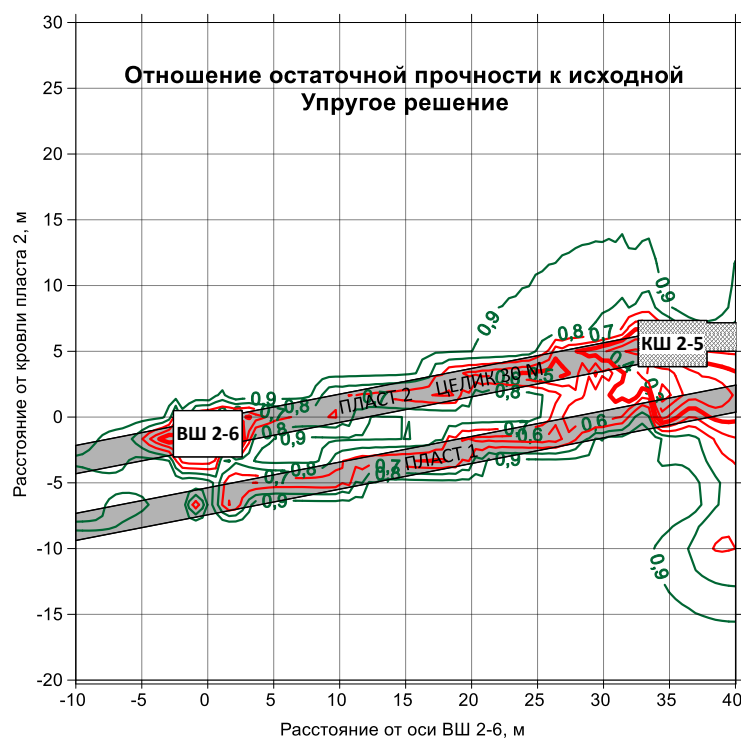


Рис. 3.2,б. Изолинии распределения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной прочности при охране вентиляционного штрека 2-6 целиком шириной 30 м при мощности пород между пластами 3 м

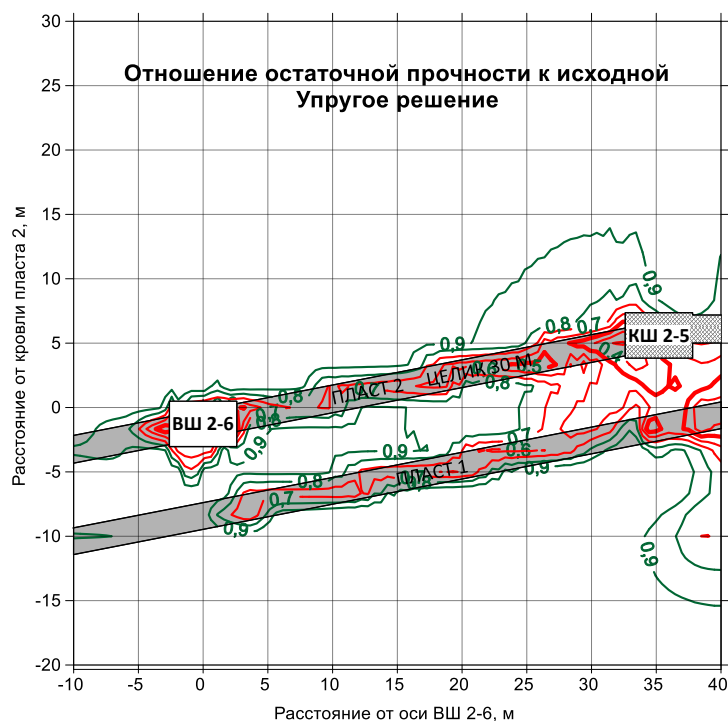


Рис. 3.2,в. Изолинии распределения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной прочности при охране вентиляционного штрека 2-6 целиком шириной 30 м при мощности пород между пластами 5 м

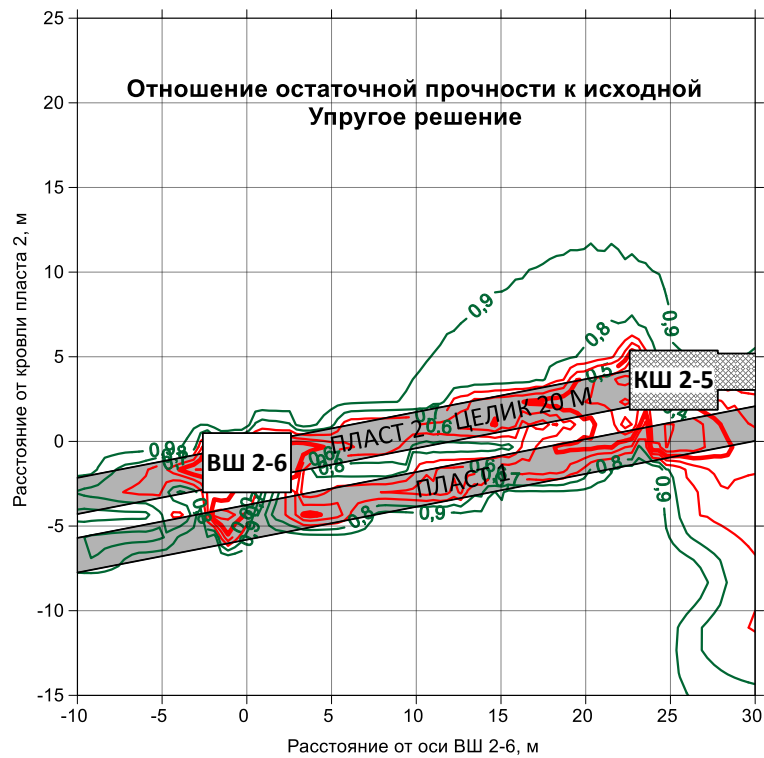
При мощности пород между пластами меньше 3 м происходит объединение зон запредельного состояния угля и пород в окрестности штрека (рис. 3.2, а). В этом случае рекомендуется применять способ упрочнения пород почвы и угля нижнего пласта в соответствии с технологией, изложенной в монографии [12].

На рис. 3.3 показано изменение отношения остаточной прочности к исходной при разной ширине угольного целика. По результатам сравнения формы и размеров зон упруго-пластического деформирования установлено, что при ширине целика более 30 м породы между пластами не разрушаются, то есть подтверждаются ранее обоснованные выводы об устойчивости угольного целика шириной 30 м.

Форма и размеры зон упруго-пластического и запредельного состояния угля и пород получены без учёта влияния времени эксплуатации вентиляционного штрека 2-6. При поддержании вентиляционного штрека в период отработки верхнего выемочного столба проявляется ползучесть угля и пород и изменение их прочности, что приводит к увеличению деформаций в угольном целике и в окрестности выработок. Закономерности деформирования горных пород во времени подробно изучены и представлены в работах, выполненных под руководством Ж.С. Ержанова [80, 81].

В пакет проблемно-ориентированных программ включены зависимости деформаций угля и пород во времени. Результаты реализации этих зависимостей представлены на рис. 3.4 при времени эксплуатации вентиляционного штрека 2 месяца. Как следует из рисунков и результатов сравнения форм и размеров зон разрушения угля и пород, приведённых на рис. 3.2 и 3.3, время эксплуатации оказывает существенное влияние на устойчивость угля в целиках и на контуре вентиляционного штрека 2-6. Даже при мощности пород между пластами 5 м уголь в надрабатываемом пласте разрушается. При уменьшении мощности пород между пластами происходит замыкание зон разрушения угля и пород в окрестности поддерживаемой выработки (см. рис. 3.4, а).

a



б

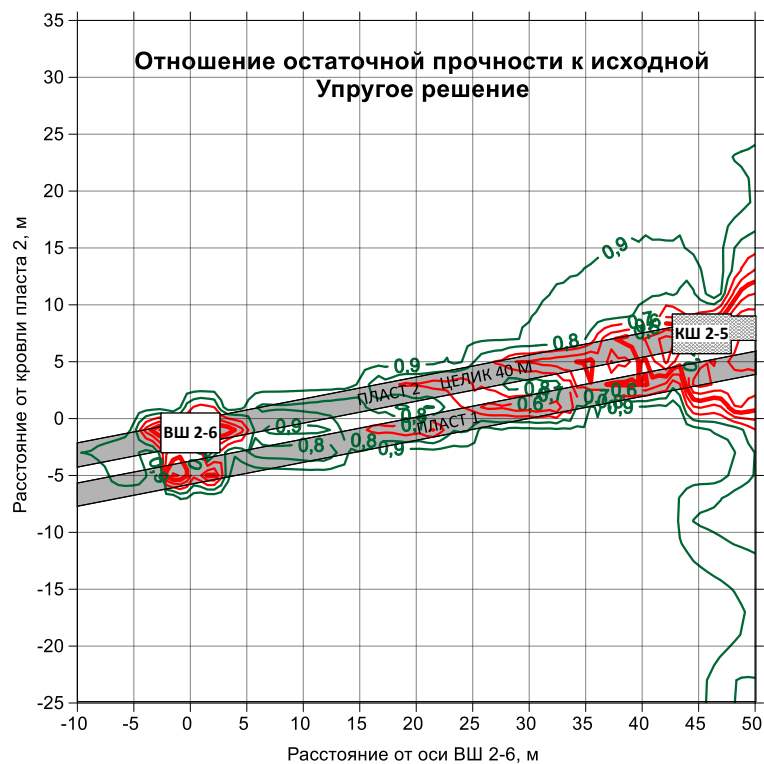
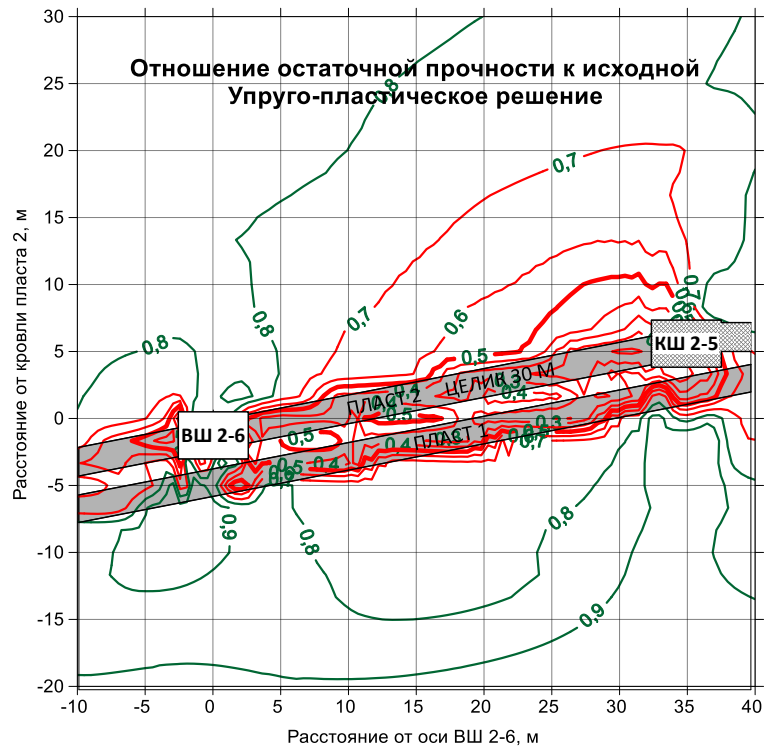


Рис. 3.3. Изолинии распределения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной прочности при мощности пород между пластами-1,4 м и охране вентиляционного штрека 2-6 целиками шириной: а – 20 м; б – 40 м

а



б

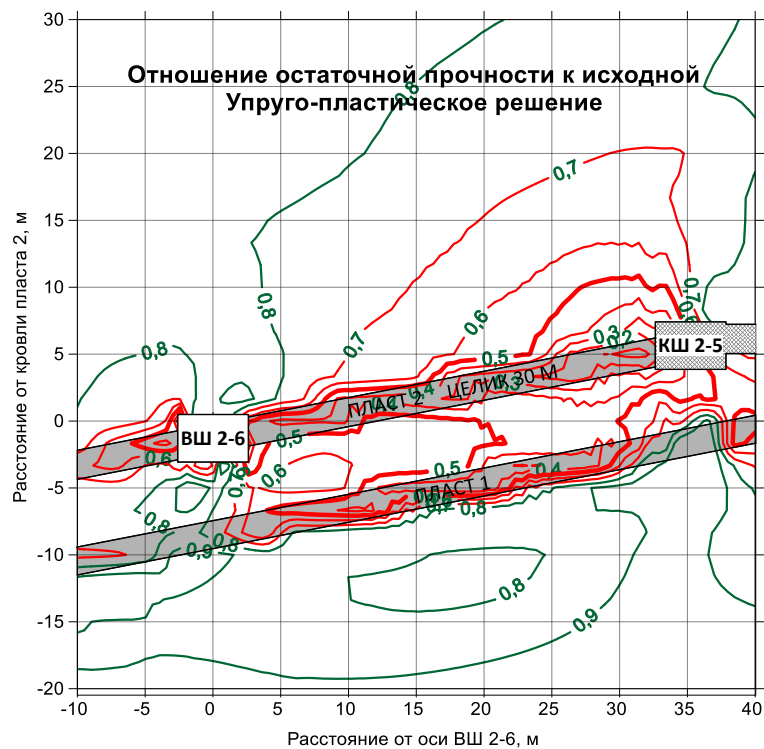


Рис. 3.4. Изолинии распределения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной прочности при охране вентиляционного штрека 2-6 целиком шириной 30 м и мощностью пород между пластами: а – 1,4 м: б – 5 м, время эксплуатации выработки 2 месяца

При сокращении ширины ленточного целика между вентиляционным штреком и очистным выработанным пространством до 20 м уголь в сближенных угольных пластах и породах между ними переходит в запредельное состояние. Это подтверждает ранее полученный вывод, что ширина целика в горно-геологических условиях выемочного столба 2-6 и следующих нижних столбов должна быть в интервале 30-40 м.

По результатам анализа результатов моделирования зон разрушения угля и пород в окрестности вентиляционного штрека установлены зависимости, приведённые на рис. 3.5. Согласно графикам, при увеличении ширины целика и мощности пород между сближенными пластами площадь частично нарушенных пород в окрестности штрека уменьшается по нелинейной обратно пропорциональной зависимости. По величинам площадей зон предразрушения угля и пород определяется плотность и длина анкеров для обеспечения эксплуатационной устойчивости подземных выработок.

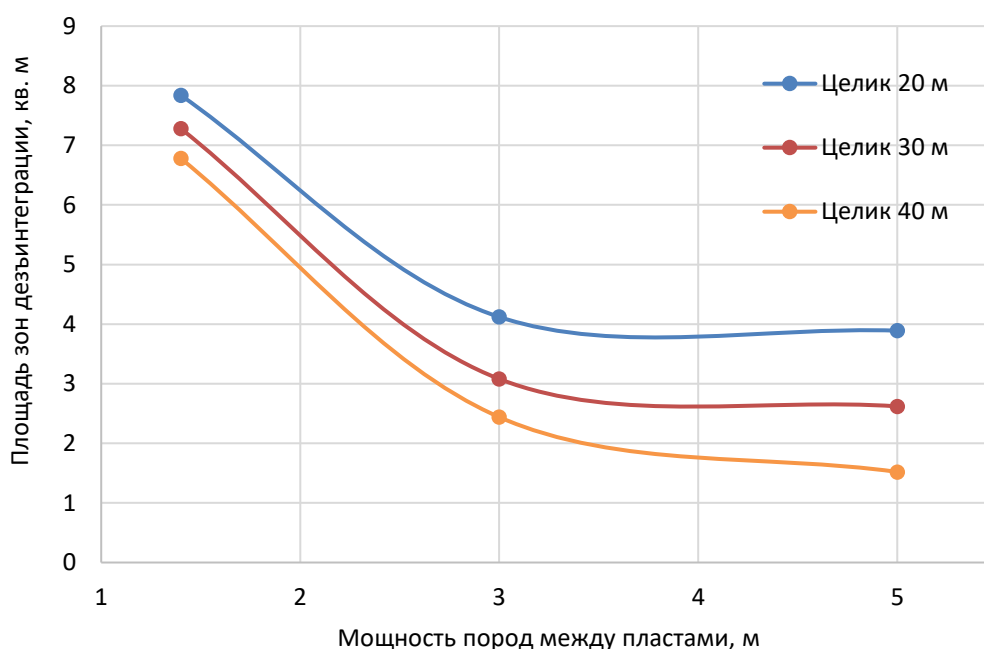


Рис. 3.5. Графики изменения площади зон упруго-пластического и запредельного состояния угля и пород в окрестности вентиляционного штрека 2-6

3.2 Закономерности распределения смещений массива горных пород в окрестности очистных и подготовительных выработок на весьма сближенных пластах

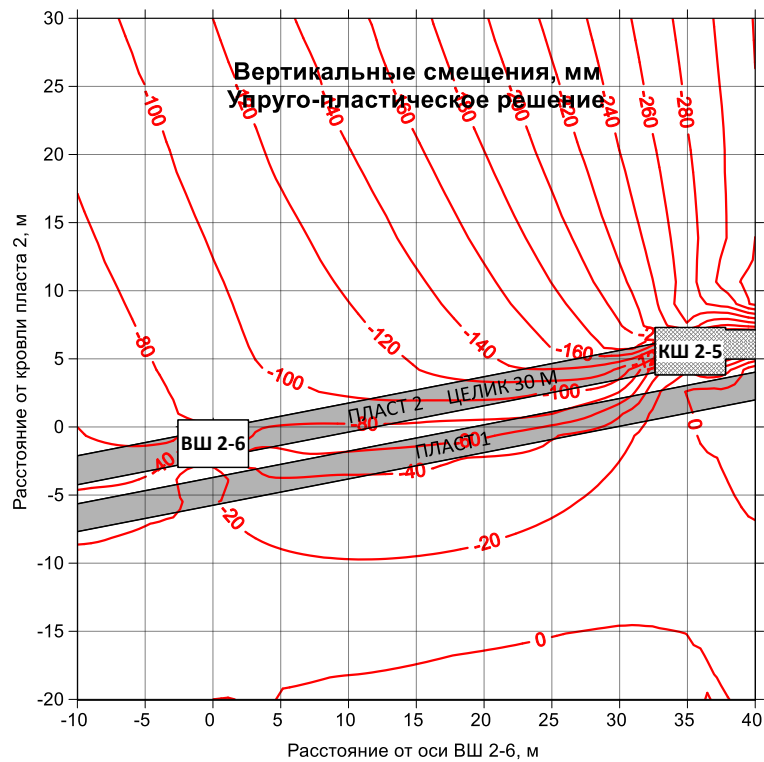
На рис. 3.6 приведены изолинии распределения вертикальных и горизонтальных смещений углепородного массива при ширине целика 30 м. Аналогичные графики получены при ширине целика 20 и 40 м при изменении в каждом варианте мощности пород между пластами в пределах 1,4-5,0 м. По результатам анализа девяти вариантов распределения смещений пород установлено:

- вертикальные и горизонтальные смещения пород кровли плавно увеличиваются в направлении от вентиляционного штрека 2-6 к границе очистного выработанного пространства, однако интенсивность роста смещений снижается при изменении ширины целика в пределах 20-40 м;
- вектор горизонтальных смещений направлен по линии падения пласта с перемещением вмещающих пород по контактам с кровлей и почвой угольных пластов;
- общий характер распределения смещений существенно не зависит от ширины угольного целика и мощности пород между пластами, основным фактором, влияющим на величины смещений является ширина (длина лавы) выемочного участка.

3.3 Закономерности распределения напряжений в массиве горных пород в окрестности очистных и подготовительных выработок на весьма сближенных пластах

Для выявления закономерностей распределения вертикальных и горизонтальных напряжений в углепородном массиве в окрестности и очистных и подготовительных выработок на весьма сближенных пластах проведено моделирование девяти вариантов размеров угольного целика

а



б

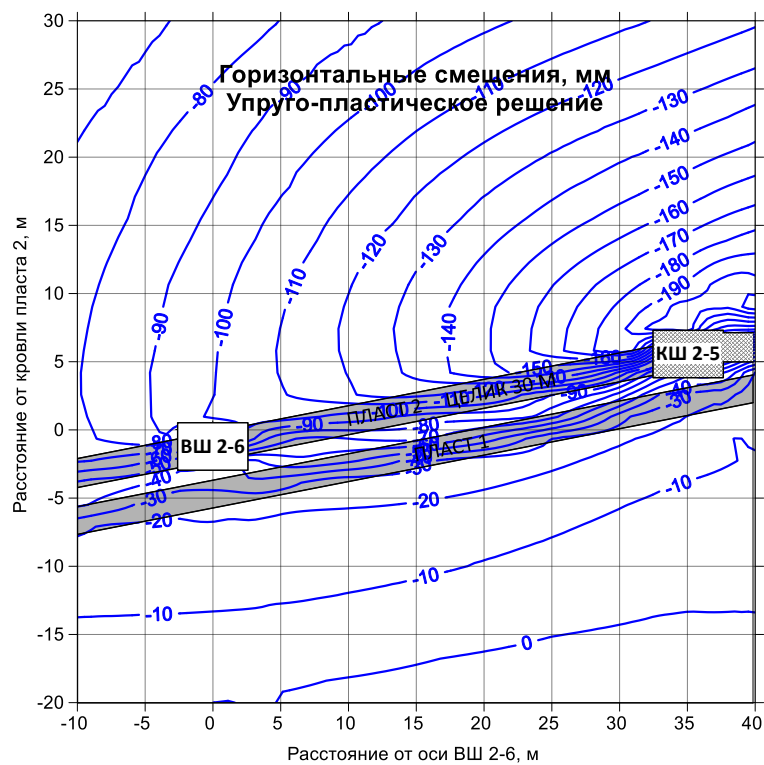


Рис. 3.6. Изолинии распределения смещений (мм) угленородного массива при охране вентиляционного штрека 2-6 целиком шириной 30 м и мощности пород между пластами 1,4 м: а – вертикальные смещения; б – горизонтальные смещения

между вентиляционным штреком 2-6 и мощности пород между пластами в пределах выемочного участка 2-5 (см. рис. 2.5).

Учитывая большой объем полученных результатов, последние представлены на двух наиболее представительных рисунках: вертикальные напряжения - на рис. 3.7, горизонтальные – на рис. 3.8.

По результатам анализа изолиний распределения вертикальных напряжений выявлены следующие закономерности:

- при увеличении ширины целика в пределах 20-40 м коэффициент концентрации вертикальных напряжений на границе с очистным выработанным пространством снижается в 1,2 раза;

- ось симметрии изолиний на всех графиках независимо от мощности пород между пластами и ширины целика направлена по нормали к пластам.

По результатам анализа изолиний распределения горизонтальных напряжений установлено:

- в породах кровли верхнего пласта горизонтальные напряжения сжимающие, а в почве преобладают напряжения растяжения;

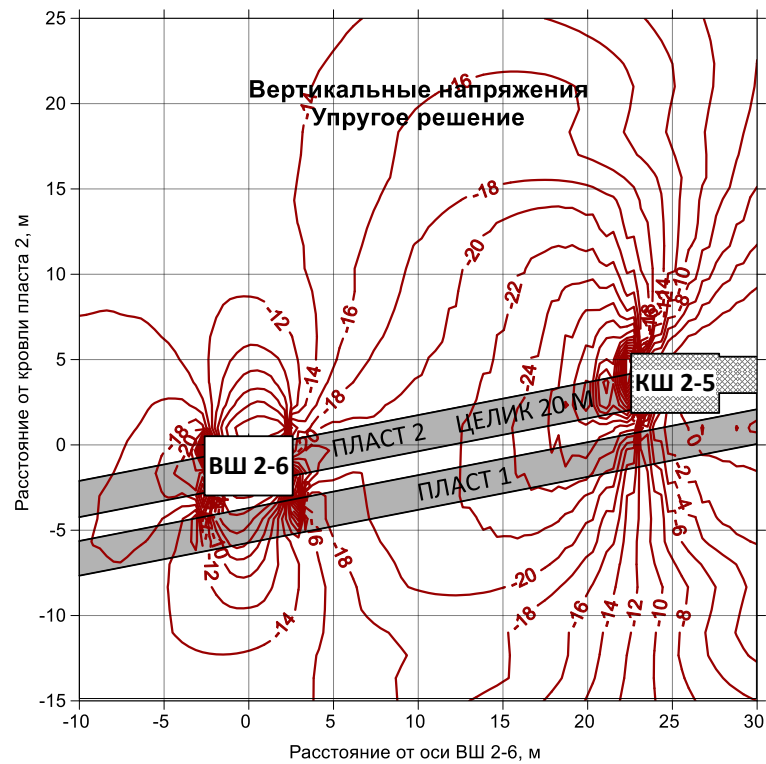
- наиболее высокий риск возникновения газодинамических явлений следует ожидать в надрабатываемом пласте, где выявлены большие вертикальные напряжения сжатия и горизонтальные напряжения растяжения;

- влияние целика-штампа на верхнем отрабатываемом пласте распространяется на расстояние 5-10 м ниже надрабатываемого пласта.

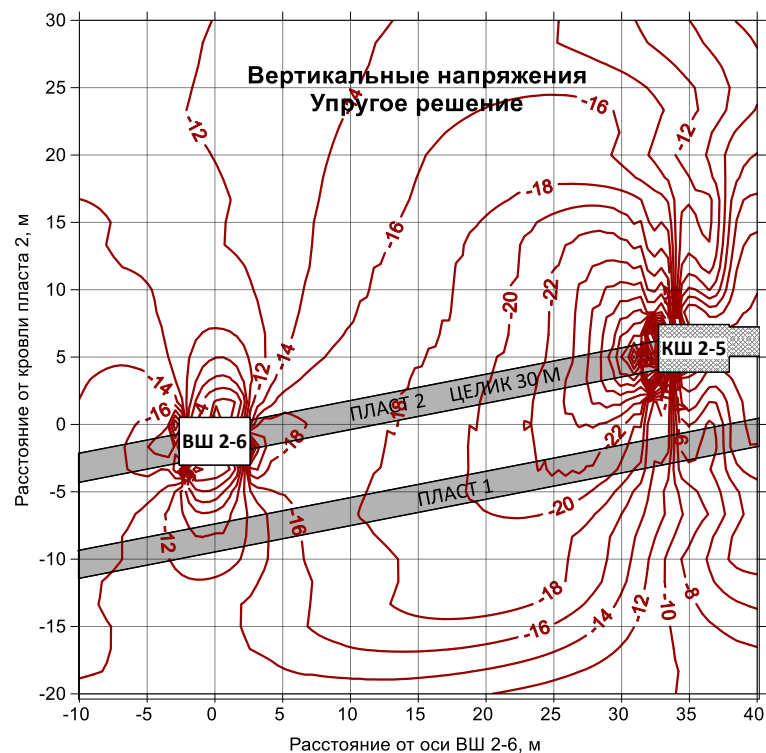
3.4 Выводы

- 1) При уменьшении мощности пород между весьма сближенными пластами происходит постепенное слияние зон упруго-пластического деформирования горных пород и угля сближенных пластов. Установлено, что при мощности междупластья меньше 3 м для обоснования параметров технологических схем выемочного участка следует рассматривать единую

a

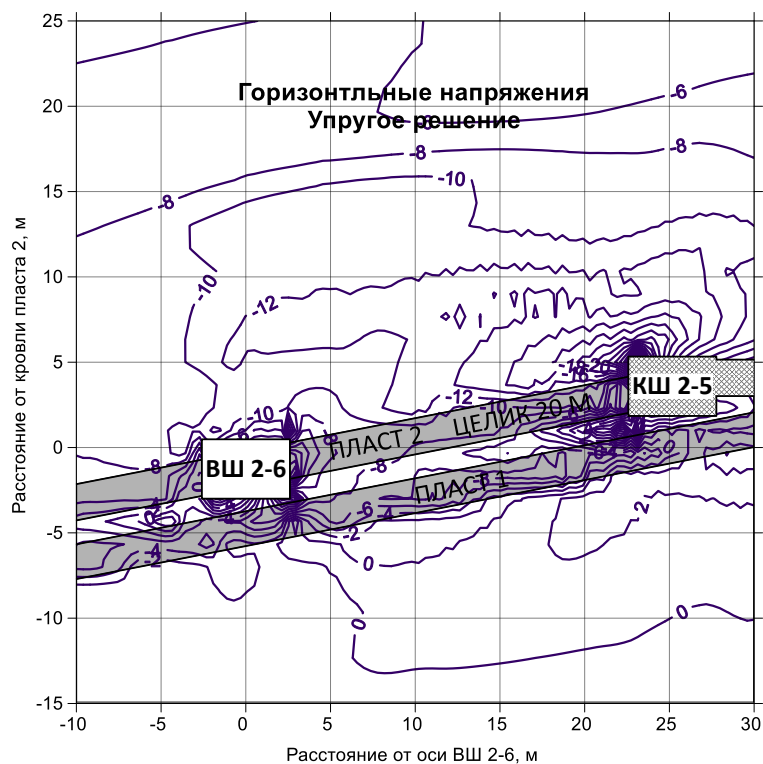


б



*Рис. 3.7. 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*

а



б

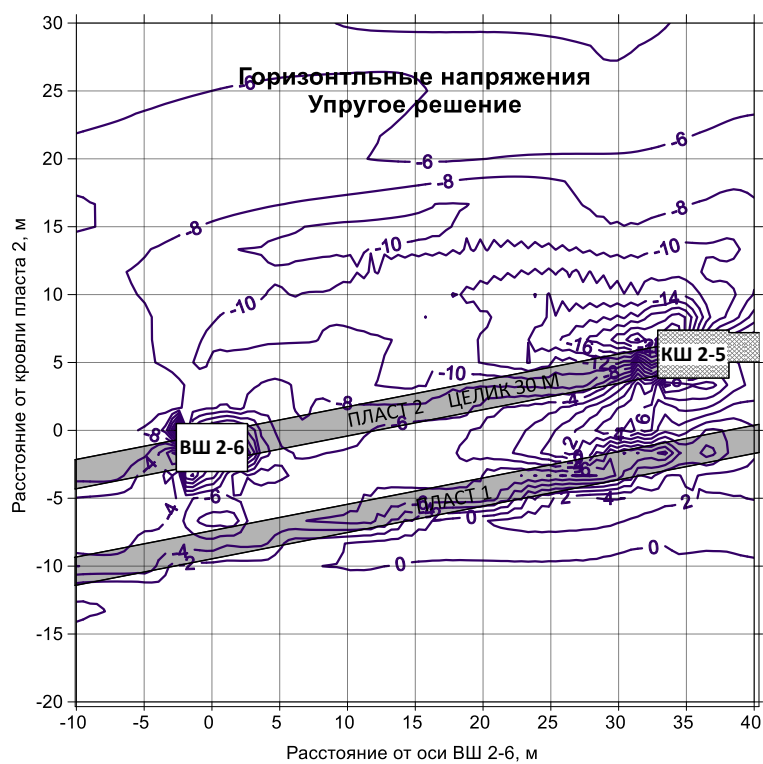


Рис. 3.8. Изолинии распределения горизонтальных напряжений (МПа):
а – ширина целика 20 м, мощность пород между пластами 1,4 м;
б– ширина целика 30 м, мощность пород между пластами 5 м

интегральную систему: сближенные пласты, вмещающие породы и пространственное положение очистных и подготовительных выработок. Нагруженный угольный целик верхнего пласта является штампом для нижнего пласта, что приводит к разрушению угля в надрабатываемом пласте даже при мощности пород между пластами более 5 м.

2) При увеличении ширины целика между очистным выработанным пространством и поддерживаемым штреком и мощности пород между сближенными пластами площадь частично разрушенных пород в окрестности охраняемого штрека уменьшается по нелинейной обратно пропорциональной зависимости.

3) Выявлены следующие закономерности распределения вертикальных и горизонтальных смещений пород на сближенных пластах в окрестности вмещающих пород, очистных и подготовительных выработок:

- вертикальные и горизонтальные смещения пород кровли плавно увеличиваются в направлении от вентиляционного штрека к границе очистного выработанного пространства, однако интенсивность роста смещений снижается при изменении ширины целика в пределах 20-40 м;

- вектор горизонтальных смещений направлен по линии падения пласта с перемещением вмещающих пород по контактам с кровлей и почвой угольных пластов.

4) По результатам анализа изолиний распределения напряжений на сближенных пластах в окрестности вмещающих пород, очистных и подготовительных выработок выявлены следующие закономерности:

- при увеличении ширины целика в пределах 20-40 м коэффициент концентрации вертикальных напряжений на границе с очистным выработанным пространством снижается в 1,2 раза;

- ось симметрии изолиний вертикальных напряжений на всех графиках независимо от мощности пород между пластами и ширины целика направлена по нормали к пластам;

– в породах кровли верхнего пласта горизонтальные напряжения сжимающие, а в почве преобладают напряжения растяжения;

– наиболее высокий риск возникновения газодинамических явлений следует ожидать в надрабатываемом пласте, где выявлены вертикальные напряжения сжатия и горизонтальные напряжения растяжения, превышающие предельные;

– влияние целика-штампа на верхнем отрабатываемом пласте распространяется на расстояние 5-10 м ниже надрабатываемого пласта.

4 ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРОВ УСТОЙЧИВЫХ УГОЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ И ОТРАБОТКЕ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА НА ВЕСЬМА СБЛИЖЕННЫХ ПЛАСТАХ

Так как угольные целики являются основным элементом технологии поддержания выработок при многоштрековой подготовке и отработке весьма сближенных пластов, то с целью обоснования ширины устойчивых целиков проведены исследования, изложенные в настоящей главе. Рассмотрено три варианта ленточных целиков: постоянной ширины между вскрывающими, подготавливающими выработками, постоянной ширины между подготовительными выработками и очистным выработанным пространством и переменной ширины при пересечении очистным забоем передовых выработок в выемочном столбе (диагональные печи, сбойки, демонтажные камеры и др.).

4.1 Обоснование размеров и пространственного положения угольных целиков между вскрывающими выработками на весьма сближенных угольных пластах

В настоящем параграфе обоснованы рекомендации для выбора ширины и пространственного положения угольных целиков, обеспечивающих устойчивость горных выработок при взаимном влиянии элементов сложной системы «весьма сближенные пласты 1 и 2 и охраняемые угольными целиками параллельные уклоны».

Исследования проведены при вскрытии и подготовке весьма сближенных угольных пластов 1 и 2 [9, 59, 85]. Изучались процессы деформирования горных пород под влиянием взаимодействующих техногенных и природных напряжений в окрестности четырёх уклонов на

весьма сближенных угольных пластах 1 и 2.

Для обоснования рекомендаций по обеспечению устойчивости вскрывающих выработок решены следующие задачи:

1) Разработана методика исследований и проведена адаптация пакета компьютерных программ к конкретным горно-геологическим и горнотехническим условиям весьма сближенных пластов 1 и 2.

2) Проведено численное моделирование напряжённо-деформированного состояния углепородного массива в окрестности уклонов.

3) Проведена оценка соответствия вычисленных методом конечных элементов и измеренных в шахтных условиях смещений боковых пород в уклонах.

4) Обоснованы по результатам моделирования рекомендации по рациональному пространственному расположению уклонов и обеспечению их устойчивости при вскрытии и подготовке свиты весьма сближенных угольных пластов с учётом разной мощности пород между пластами.

Для моделирования напряжённо-деформированного состояния геомассива использованы следующие исходные данные:

1) План горных выработок по пластам 2 и 1 (см. рис. 2.5).

2) Геологические колонки по геологоразведочным скважинам.

3) Рабочие чертежи пространственного положения следующих уклонов:

- вентиляционного уклона пласта 1;
- конвейерного уклона пласта 2;
- транспортного уклона пласта 1;
- транспортного уклона пласта 2.

4) Прогнозный геологический разрез по транспортному уклону пласта 1.

Мощность пород между пластами 1 и 2 представлена переслаиванием аргиллитов и алевролитов по трассе уклонов и равна 7,09 м. Породы кровли пласта 2 представлены алевролитом мелкозернистым сухим без расслоения, а породы почвы пласта 1 – алевролитом мелкозернистым. По результатам экспертной оценки устойчивости выработок установлено, что следует ожидать

интенсивное пучение пород почвы выработок по пласту 2 и разрушение пород в боках и кровле уклонов пласта 1.

Ширина угольных целиков между выработками, тип и конструкции крепи уклонов соответствует требованиям действующих методических документов [26, 31, 33, 86]. Для установления характера взаимного влияния уклонов, обоснования вариантов их рационального пространственного расположения и разработки мероприятий по обеспечению устойчивости пород было принято решение провести исследования методом численного моделирования.

Учитывая отсутствие результатов натурных измерений деформаций пород в окрестности уклонов согласно алгоритму, приведённому на рис. 2.1, в качестве основного при исследовании принят метод конечных элементов [73, 87, 88] с использованием авторских пакетов компьютерных программ, разработанных на кафедре геотехнологии СибГИУ [20, 40, 72, 89, 91].

Пакет компьютерных программ KLATRAT был адаптирован к горно-геологическим и горнотехническим условиям уклонов. Вклад автора настоящей работы состоит в постановке задачи моделирования, формировании исходных данных, построении геометрической модели исследуемой области геомассива в окрестности уклонов, проведении расчётов по компьютерной программе [55, 72], обработке результатов моделирования и обосновании выводов и рекомендаций. В качестве исходных данных принята геологическая колонка по геологической скважине, проходящей в окрестностях рассматриваемых горных выработок. В геометрической модели (рис. 4.1) приняты следующие исходные данные:

- **нижний пласт 1:** мощность пласта 1,60 м, коэффициент крепости по шкале проф. Протоdjяконова $f=1,0$;

- **верхний пласт 2:** мощность пласта 2,55 м, коэффициент крепости по шкале проф. Протоdjяконова $f=1,0$; мощность пород между пластами 1 и 2 – 7,09 м, коэффициент крепости пород по шкале проф. Протоdjяконова $f=3,0$.
Остальные мощности породных слоёв и коэффициенты крепости по шкале

проф. Протодяконова приняты по результатам горно-геологического прогноза и разреза по скважине.

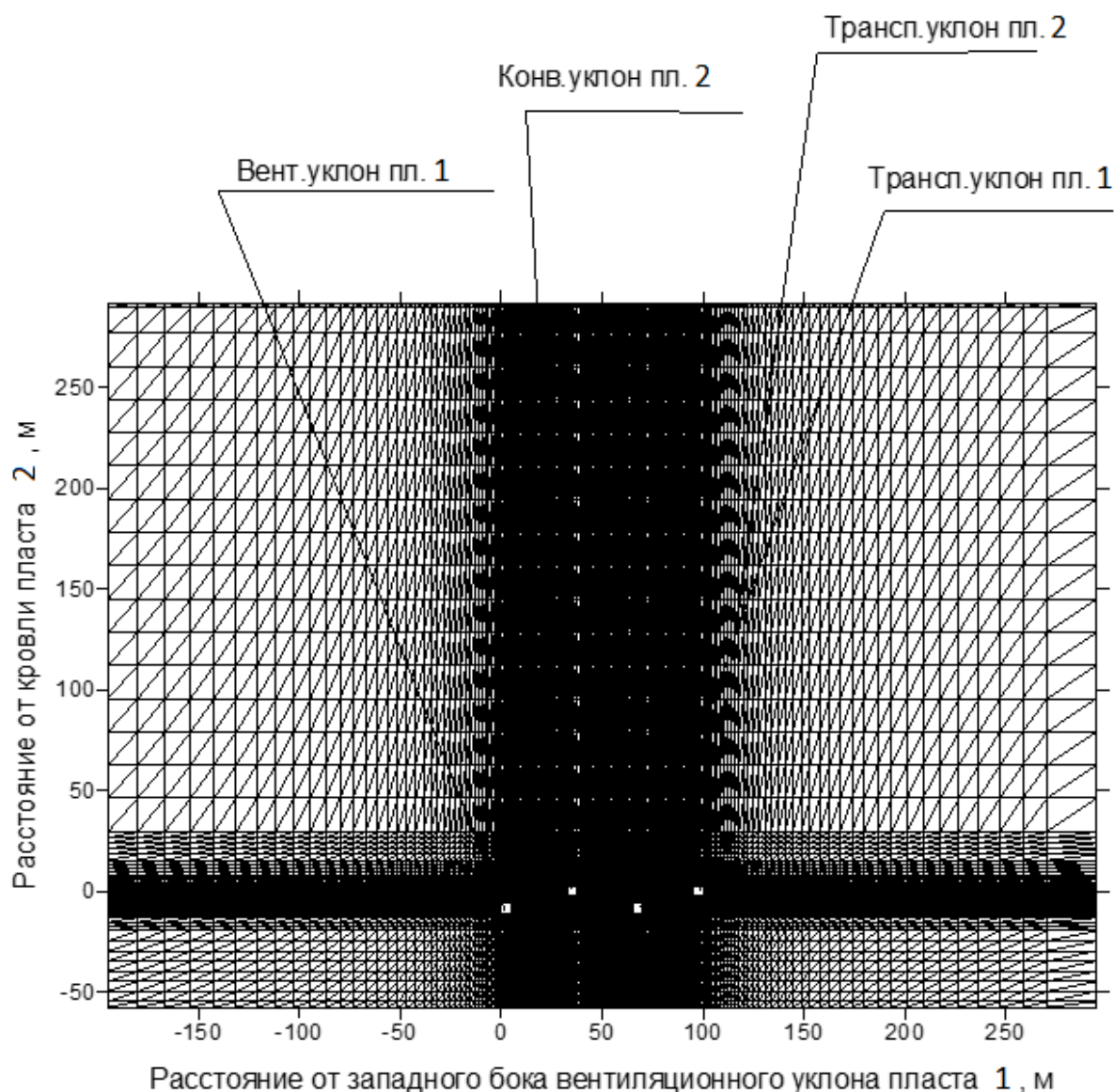


Рис. 4.1. Схема дискретизации геометрической модели угленородного массива на треугольные конечные элементы

Геометрическая модель представлена в виде вертикального разреза, перпендикулярного осям уклонов. Начало координат условной системы координат принято на пересечении кровли пласта 2 и западного бока вентиляционного уклона пласта 1 (рис. 4.1).

Размеры геометрической модели по простиранию приняты 500 м, глубина залегания пласта 2 – 270 м. Размеры модели по простиранию приняты

с учётом возможного влияния очистного выработанного пространства выемочного столба 2-4 на напряжённо-деформированное состояние пород в окрестности уклонов.

Моделирование осуществлялось при двух вариантах природного поля напряжений вне зоны влияния горных выработок: гравитационного и геотектонического. Параметры исходного напряжённого состояния геомассива определялись по результатам геотектонического районирования и в каждом конечном элементе определялись по следующим формулам:

$$\sigma_v = \gamma \times H;$$

$$\sigma_H = \sigma_v \times \lambda,$$

где σ_v , σ_H – соответственно вертикальные и горизонтальные напряжения в природном силовом поле, то есть при отсутствии техногенных напряжений;

H – глубина залегания пород от земной поверхности, м;

γ – объёмный вес пород, т/м³;

λ – коэффициент бокового давления, который принимается для геотектонического поля в пределах $\lambda=0-5$, гравитационного $\lambda = \frac{\nu}{1-\nu}$,

где ν – коэффициент Пуассона.

На рис. 4.2 приведены результаты моделирования зоны разрушения пород в окрестности уклонов под влиянием гравитационного природного поля напряжений. Расчёт координат границ зон разрушения проведён по трём теориям прочности: разномодульной, Кулона-Мора, энергетической [70, 92, 93]. По этим теориям границы зон разрушения пород почти совпадают.

Из графиков рис. 4.2 распределения границ разрушенных пород следует, что на устойчивость уклонов по пласту 1 существенно влияет пласт 2, так как высота свода разрушения пород в уклонах пласта 1 достигает кровли пласта 2. Пласт 1 почти не влияет на пучение пород почвы уклонов по пласту 2.

На рис. 4.3 приведены изолинии распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений в зоне влияния уклонов. Из графиков следует, что взаимное влияние соседних уклонов незначительное, угольные

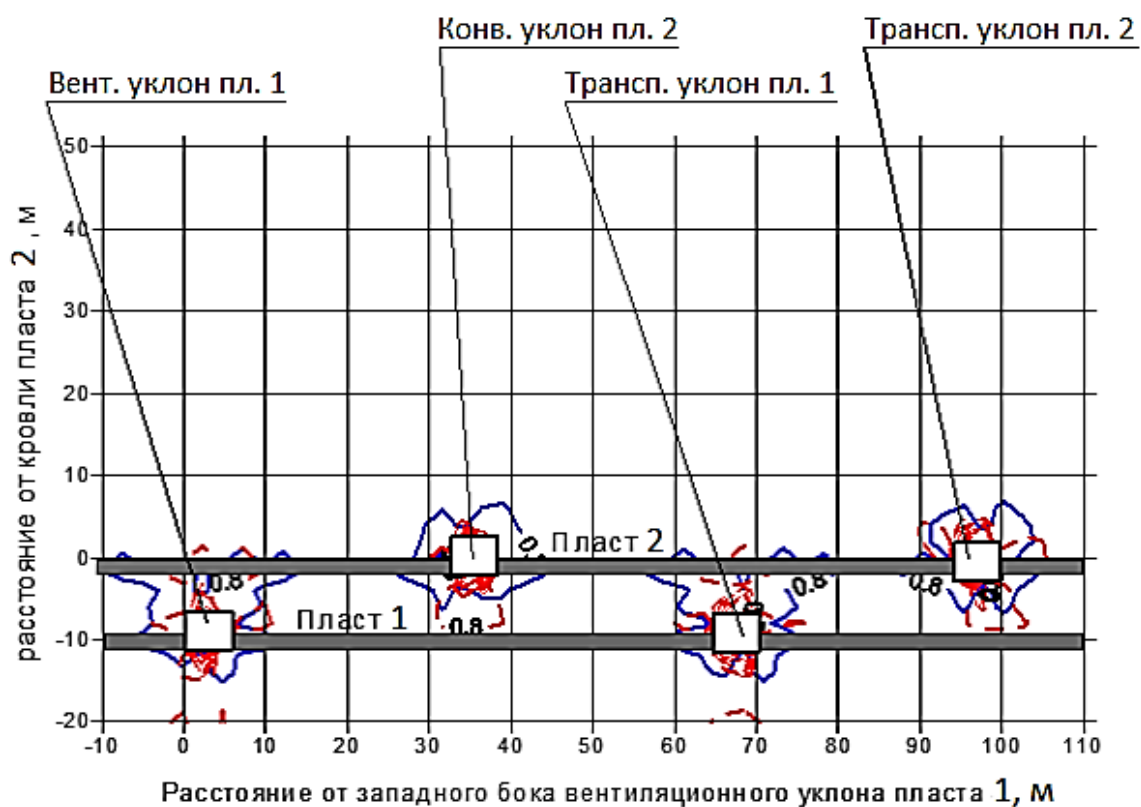


Рис. 4.2. Зоны разрушения пород в окрестности уклонов в гравитационном поле напряжений

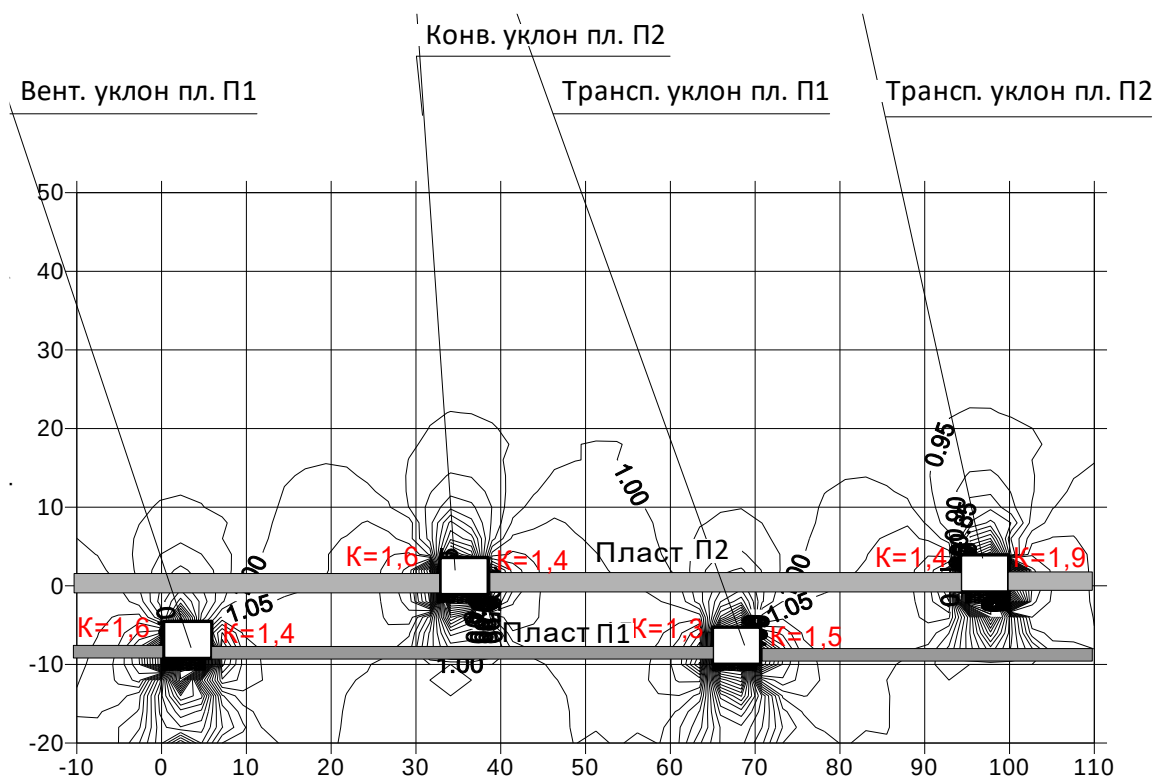


Рис. 4.3. Коэффициент концентрации (K) вертикальных напряжений в окрестности уклонов в гравитационном поле напряжений

целики сохраняют устойчивость. Максимальные коэффициенты концентрации напряжений установлены в боках крайних выработок: вентиляционного уклона пласта 1 (коэффициент концентрации вертикальных напряжений $K=1,6$ и транспортного уклона пласта 2 (коэффициент концентрации напряжений $K=1,9$).

При глубине разработки пласта 2 $H=270$ м и плотности пород $\gamma=2,5$ т/м³ напряжения в нетронутом массиве составят 6,75 МПа. При коэффициенте концентрации вертикальных напряжений $K=1,6$ полные вертикальные напряжения в западном боку вентиляционного уклона пласта 1 составят $\sigma_{пл1}=6,75 \times 1,6=10,8$ МПа.

Соответственно в восточном боку транспортного уклона $\sigma_{пл2}=6,75 \times 1,9=12,8$ МПа при прочности угля при сжатии $\sigma_{сж}=10$ МПа и коэффициенте структурного ослабления с учётом пересчёта прочности угля от лабораторного образца к натурному трещиноватому пласту $K_{стр}=0,5$, возможны следующие ситуации на боках выработок [2, 55, 94]:

– для западного бока вентиляционного уклона пласта 1:

$10,8 > 10 \times 0,5$ – произойдёт разрушение угля;

– для восточного бока транспортного уклона пласта 2:

$12,8 > 10 \times 0,5$ – произойдёт разрушение угля.

Аналогичные разрушения угля ожидаются в боках и других выработок.

Для прогнозной оценки взаимного влияния уклонов на соседние выработки построены изолинии вертикальных смещений (рис. 4.4).

По результатам анализа характера распределения вертикальных смещений можно утверждать, что выработки оказывают взаимное влияние друг на друга, что подтверждается формированием общей зоны сдвижения пород кровли и частично почвы.

Высота зоны сдвижения ограничена пластом нерабочей мощности на расстоянии 30-40 м от кровли пласта 2. В пределах всей зоны сдвижения в окрестности каждого уклона формируется локальная зона в виде

полуэллипсов, оси которых наклонены в середину общей зоны сдвижения. Максимальные смещения пород ожидаются в окрестности уклонов пласта 1.

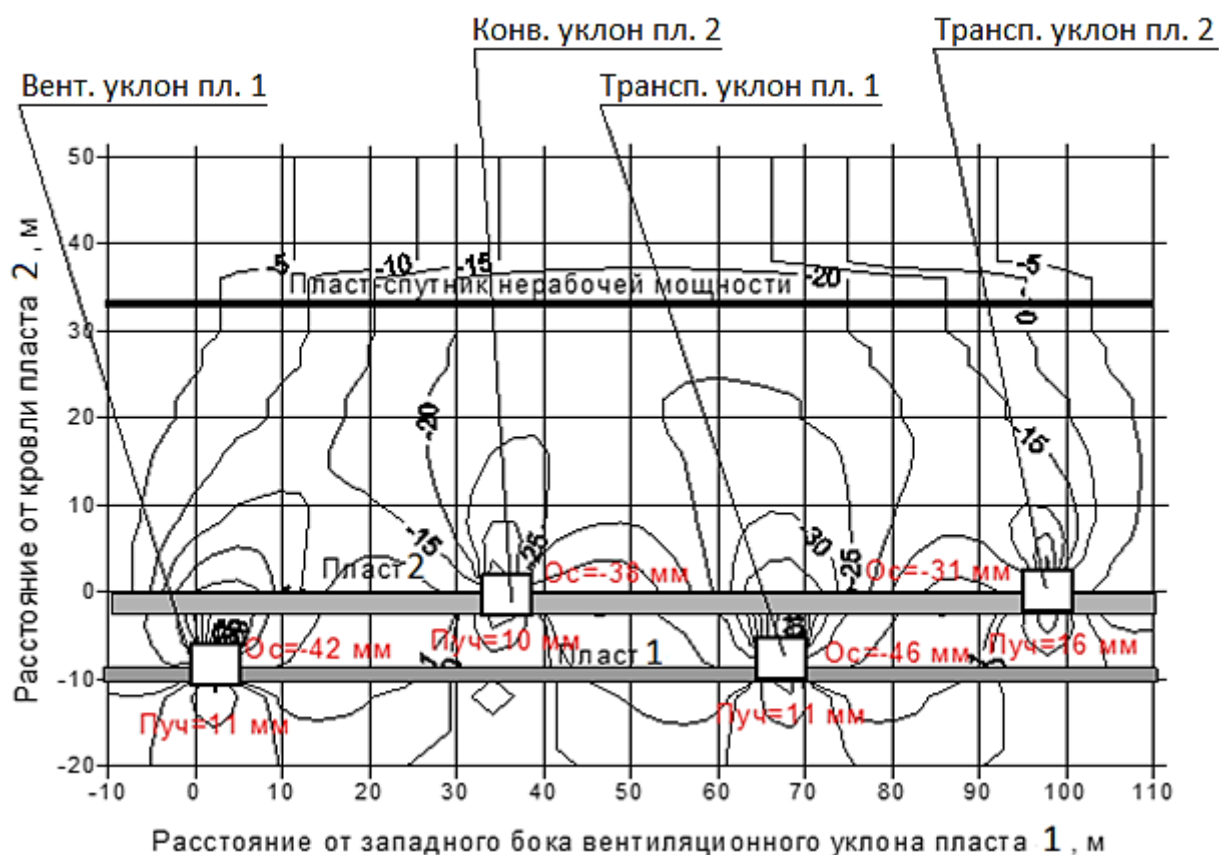


Рис. 4.4. Вертикальные смещения пород кровли (O_c) и пучения пород почвы ($Пуч$) в гравитационном поле напряжений, мм

Для обеспечения основного и вспомогательного транспорта, вентиляции и запасных выходов между уклонами пластов 1 и 2 предусмотрены наклонные сбойки. Для выбора параметров крепи сбоек на отдельных этапах их проведения и крепления проведено численное моделирование напряжённо-деформированного состояния пород в окрестности сбойки, пройденной от вентиляционного уклона пласта 1 до транспортного уклона пласта 2. Рассмотрено три этапа проведения сбойки прямоугольной и арочной формы поперечного сечения [59].

Первый этап проведения сбойки: с присечкой пород кровли пласта 1 (рис. 4.5 и 4.6). Выявлено начало активного влияния пласта 2 на устойчивость пород кровли сбойки на расстоянии 4,5 м от почвы пласта 2 (рис. 4.5).

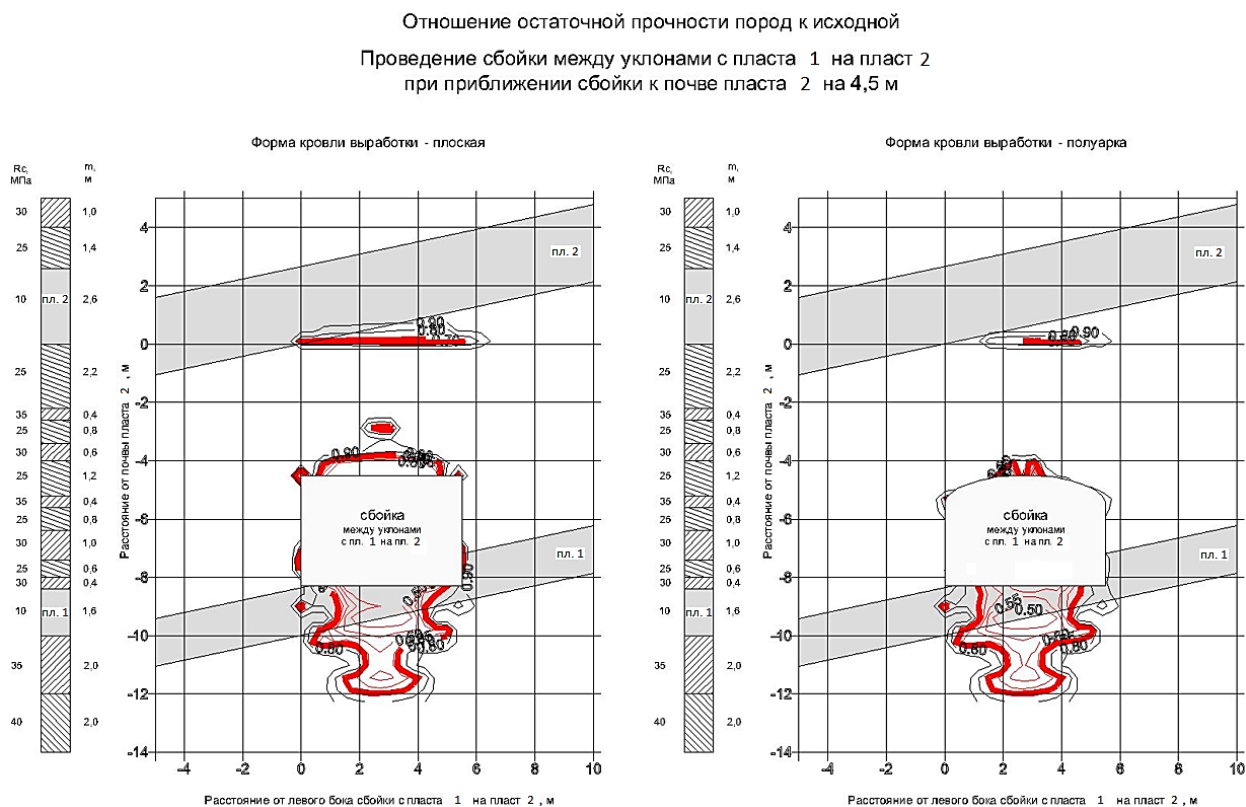


Рис. 4.5. Зоны разрушения пород при проведении сбойки с присечкой пород кровли пласта 1 (этап 1)

Для геомеханической ситуации, представленной на рис. 4.2, по Инструкции [31] проведён расчёт параметров крепи (рис. 4.6). Устойчивость выработки на всем протяжении ее эксплуатации обеспечивается, однако очевидно, что изменение формы кровли выработки с плоской на полуарку увеличит устойчивость выработки почти в 1,5 раза, что подтверждается объёмами зон разрушения пород.

Второй этап проведения сбойки: проведение сбойки между кровлей пласта 1 и почвой пласта 2 (рисунки 4.7-4.9).

Установлено, что на первом этапе проведение сбойки как с плоской кровлей, так и в форме полуарки не осложнит эксплуатацию выработки. Однако рекомендуется по сравнению с [31] увеличить плотность установки

анкеров первого уровня. Применение канатных анкеров глубокого заложения на первом этапе не приведет к повышению устойчивости выработки, однако может вызвать нежелательные последствия «набухания» пород кровли при перетоке воды с пласта 2.

Рекомендованный паспорт крепления сбойки между уклонами с пласта 1 на пласт 2
(ЭТАП I)
Анкеры первого уровня длиной 2,2 - 2,5 м

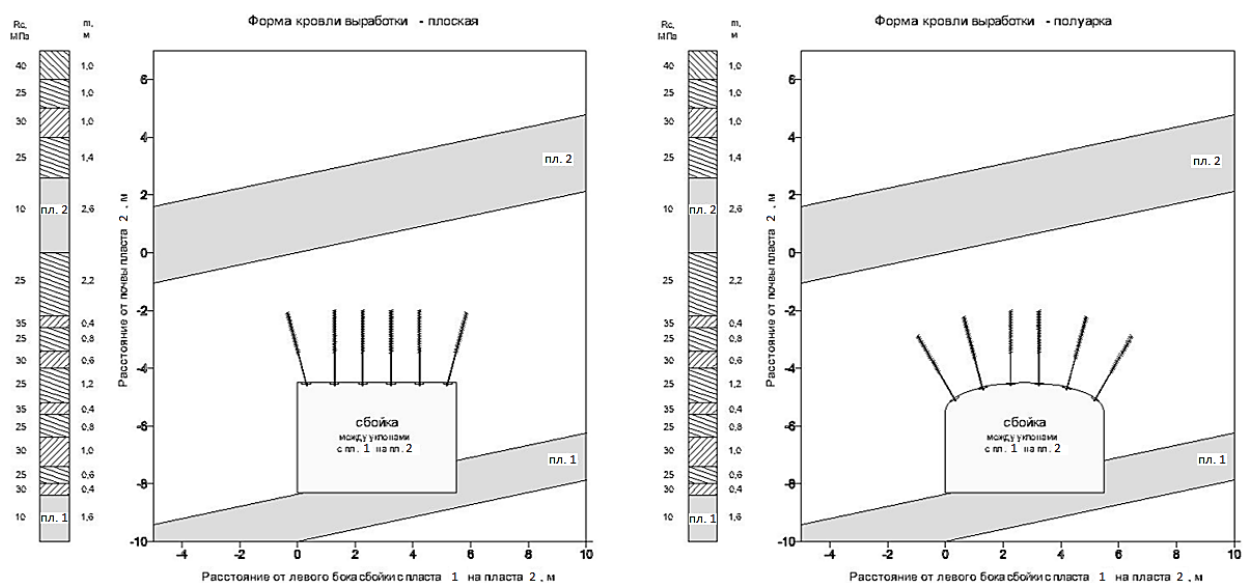


Рис. 4.6. Паспорт крепления сбойки при проведении её с присечкой пород кровли пласта 1 (этап 1)

Расстояние от кровли сбойки до почвы пласта 2 принято в диапазоне от 2,5 до 0,6 м. По сравнению с рис. 4.5 на рис. 4.7 площади разрушенных пород в окрестности сбойки существенно увеличились за счёт разрушения угля и пород кровли пласта 2. Интенсивность запредельного деформирования пород существенно меньше при проведении выработки арочной формы. Эта закономерность подтверждается графиками распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений (рис. 4.8), на котором выделена зона разгрузки пород при коэффициенте концентрации $K=0,3$ для разных форм поперечного сечения выработок.

Отношение остаточной прочности пород к исходной
 Проведение сбойки между уклонами с пласта 1 на пласт 2
 при приближении сбойки к почве пласта 2 на 0,6 м
 Крепление выработки на 6 анкеров первого уровня длиной 2,5 м и 3 канатных анкера длиной 5,0 м

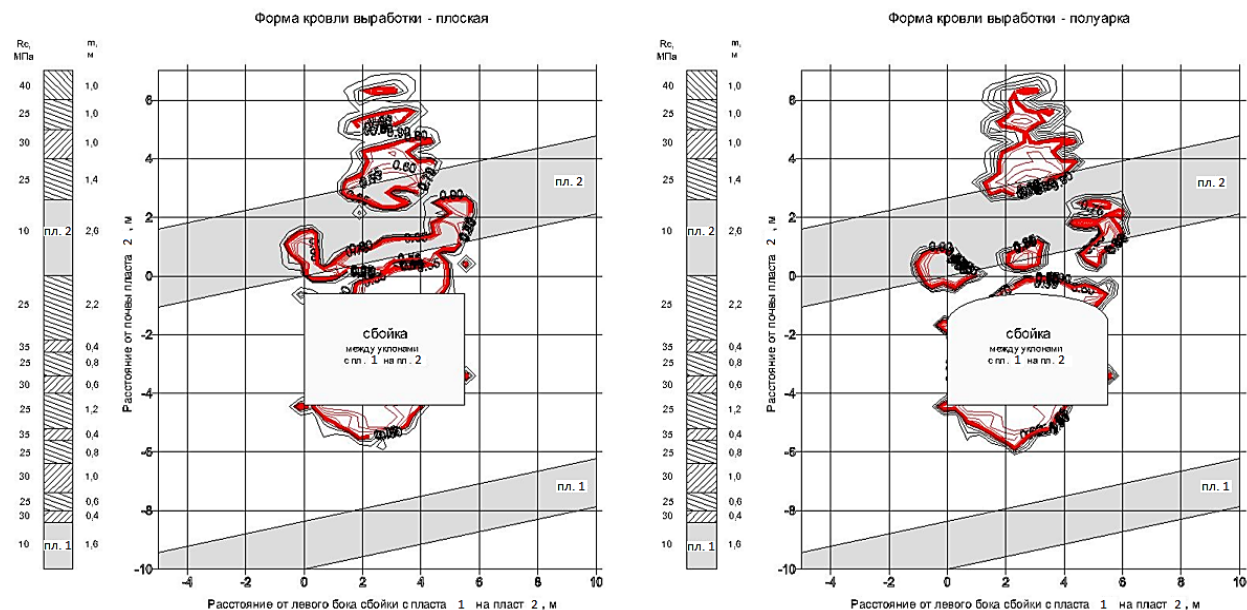


Рис. 4.7. Зоны разрушения пород при проведении сбойки с расположением её между кровлей пласта 1 и почвой пласта 2 (этап 2)

Коэффициент концентрации вертикальных напряжений
 Проведение сбойки между уклонами с пласта 1 на пласт 2
 при приближении сбойки к почве пласта 2 на 0,6 м
 Выработки без креплений

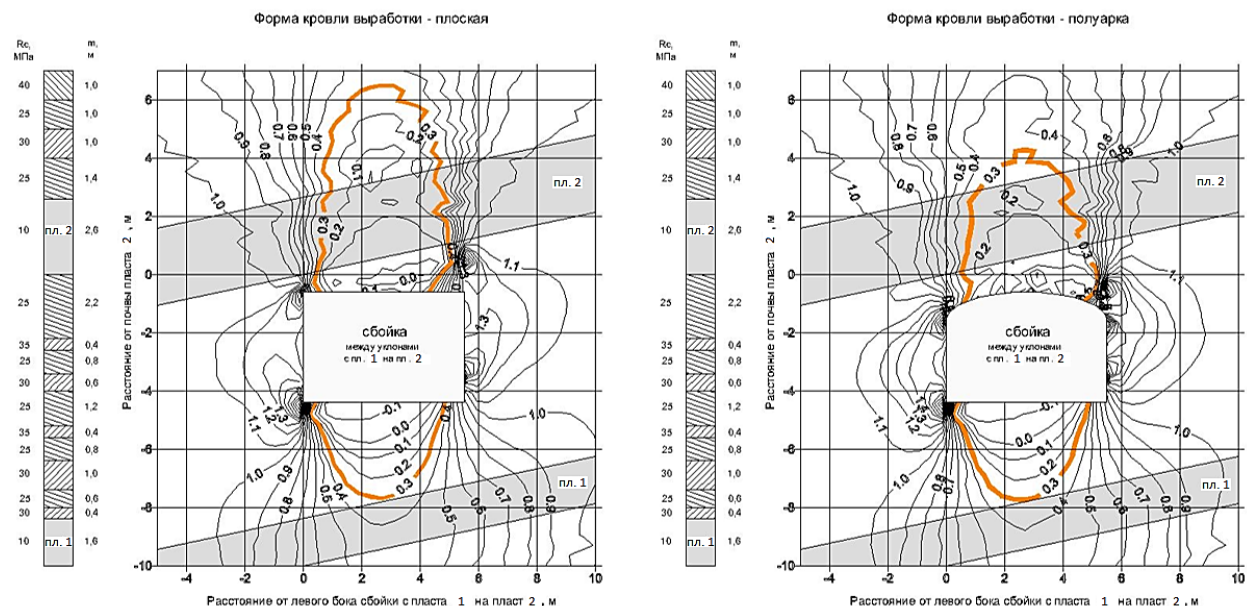


Рис. 4.8. Изолинии распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений в породах при расположении сбойки между кровлей пласта 1 и почвой пласта 2 (этап 2)

Рекомендованный паспорт крепления сбойки между уклонами с пласта 1 на пласт 2
(ЭТАП II)
Анкеры первого уровня длиной 2,5 м, канатные анкеры 2 шт. длиной 5,5 м

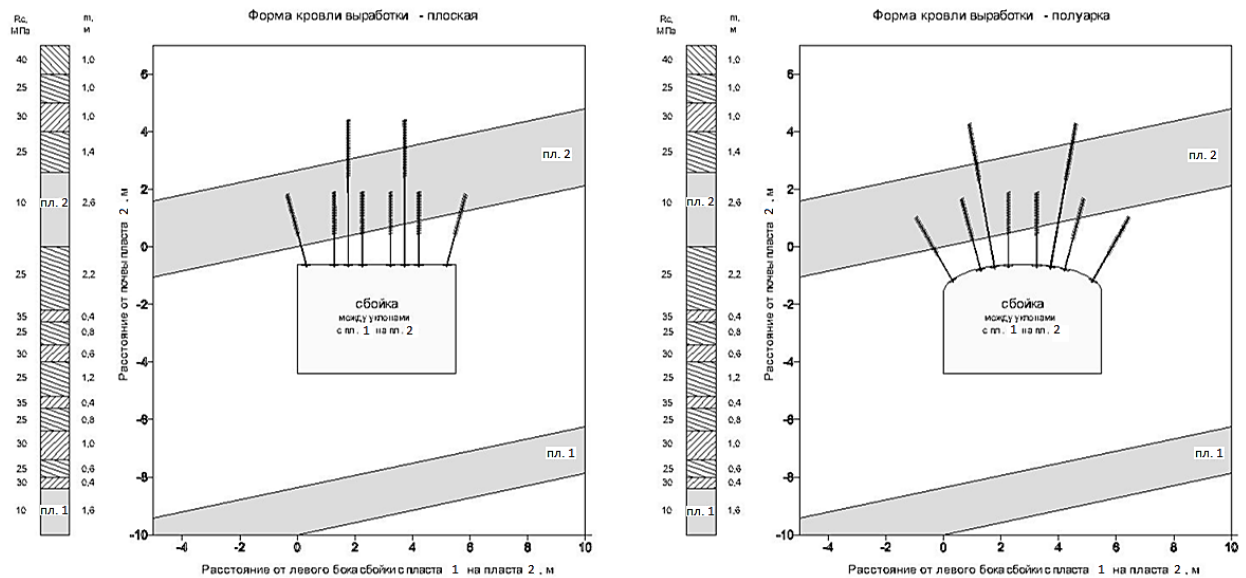


Рис. 4.9. Паспорт крепления сбойки на этапе ее проведения между кровлей пласта 1 и почвой пласта 2 (этап 2)

Выполненные по «Инструкции...» [31] расчеты параметров крепи (рис. 4.9) позволяют осуществлять крепление выработки вне зависимости от формы сечения. Рекомендуется применять анкеры первого уровня с увеличением плотности в 2 раза и устанавливать канатные анкеры с закреплением в породах выше пласта 2. Заглубление канатных анкеров в кровлю пласта 2 должно быть 0,5 м, следовательно, длина анкеров второго уровня составит 5,5 м. Для обеспечения устойчивости выработки рекомендуется устанавливать два анкера усиления на один погонный метр сбойки. Возможно сокращение анкеров первого уровня за счет увеличения количества анкеров усиления. Принятые на основе моделирования решения по паспорту крепления утверждены и рекомендованы к внедрению в горных выработках в пределах экспериментального участка.

Третий этап проведения сбойки: проведение сбойки у почвы пласта 2 (рис. 4.10). Расстояние от кровли сбойки до почвы пласта 2 менее 0,5 м и дальнейшее проведение сбойки с пересечением угольного пласта 2. Это самый сложный этап проведения и поддержания выработки, так как происходит

активизация процесса разрушения угля и пород обоих сближенных пластов. Предполагается высокая вероятность куполообразования при нарушении паспорта проведения или изменчивости параметров геомассива. Обоснованы варианты проведения сбойки с применением проколов или упрочнением угольного массива пласта 2 клеевыми материалами.

Обоснованы следующие параметры крепи (табл. 4.1): анкеры длиной, выходящей за кровлю пласта 2; необходимая величина перебура не менее 0,5 м или применение комбинированной крепи; анкеры первого уровня длиной 2,2-2,5 м с шагом установки 0,5 м; усиление пород кровли канатными анкерами с замком закрепления выше кровли пласта 2 на 0,5-1,0 м.

На третьем этапе проведения сбойки форма кровли выработки имеет существенное значение. Арочная форма поперечного сечения обеспечит устойчивость выработки и существенно снизит вероятность опасной производственной ситуации при проведении сбойки в обводненных условиях.

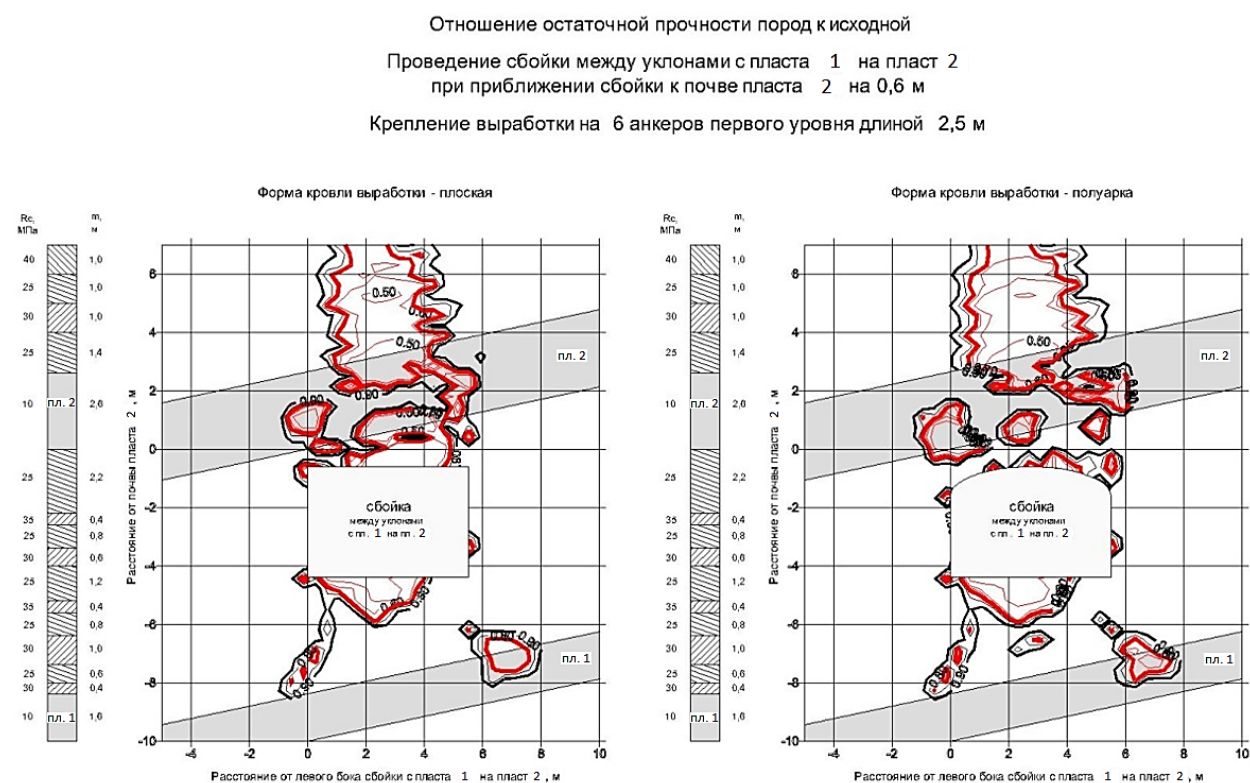


Рис. 4.10. Зоны разрушения пород при расположении сбойки у почвы пласта 2 (этап 3)

Табл. 4.1. Рекомендуемые параметры крепи сбойки с пласта 1 на пласт 2

Для кровли выработки		
Тип анкера	АСП20В	
Тип опорного элемента	шайбы 250х250х5мм, 6 шт.	
Длина анкеров	2,5	м
Количество анкеров основной крепи в ряду	6	шт.
Тип ампул	АКЦу-1200 или аналог	
Количество ампул в шпуре	2	шт.
Шаг установки анкерной крепи	1,0-1,2	м
Тип решетчатой затяжки	ЗР-2600х1200 (1400)	
Крепёж усиления		
Тип анкера	АК01	
Тип опорного элемента	шайбы 300х300х8мм	
Длина анкеров	3,5	м
Тип ампул	АКЦу-1200	
Количество ампул в шпуре	2	шт.
Количество анкеров усиления в ряду	2	шт.
Шаг установки анкеров	1,5	м

По результатам моделирования напряжённо-деформированного состояния углепородного массива в окрестности уклонов пластов 1 и 2 и анализа результатов исследований обоснованы следующие выводы и рекомендации:

1) Ширина угольных целиков между уклонами, тип и конструкции крепи уклонов соответствует требованиям действующих методических документов [26, 31, 33].

2) На устойчивость уклонов по пласту 1 существенно влияет пласт 2, так как высота свода разрушения пород в уклонах пласта 1 достигает кровли пласта 2. Пласт 1 почти не влияет на пучение пород почвы уклонов по пласту 2.

3) В геотектоническом поле напряжений при коэффициенте бокового давления $\lambda=1$ следует ожидать увеличение размеров зон разрушения пород в боках выработок, особенно в угольных пластах, так как из-за меньшей прочности угля по сравнению с вмещающими породами происходит под влиянием горизонтальных напряжений выдавливание углепородной массы в выработки.

4) В боках выработок ожидается отжим угля, так как вертикальные напряжения в 1,2-1,5 раза превышают предел прочности угля при сжатии в натурных условиях.

5) По результатам анализа характера распределения вертикальных смещений можно утверждать, что соседние выработки оказывают взаимное влияние, это подтверждается формированием общей зоны сдвижения пород кровли и частично почвы.

6) Высота зоны сдвижения пород ограничена пластом нерабочей мощности на расстоянии 30-40 м от кровли пласта 2. В пределах всей зоны сдвижения в окрестности каждого уклона формируется локальная подзона в виде полуэллипсов, оси которых наклонены в середину общей зоны сдвижения. Максимальные смещения пород ожидаются в уклонах пласта 1.

7) Горизонтальные смещения пород направлены в середину зоны сдвижения от вентиляционного уклона пласта 1 и транспортного уклона пласта 2.

8) При отработке запасов угля в выемочном столбе 2-4 следует ожидать увеличение деформаций транспортного уклона пласта 2. Для обеспечения устойчивости этой выработки в зоне влияния опорного горного давления очистного выработанного пространства предлагается предварительно провести моделирование ожидаемой геомеханической ситуации и разработать мероприятия по обеспечению устойчивости транспортного уклона пласта 2.

9) Обоснована необходимость поэтапного проведения сбоек между уклонами на сближенных пластах. Для каждого этапа установлены формы и размеры зон запредельного состояния пород и разработаны паспорта крепления выработок.

4.2 Обоснование размеров устойчивых угольных целиков между выемочными столбами при подготовке и отработке весьма сближенных угольных пластов

Исследования устойчивости угольных целиков между подготовительными выработками и очистным выработанным пространством проводились посредством численного моделирования по алгоритму, приведённому на рис. 2.1, с настройкой входных параметров модели по результатам шахтных измерений деформаций контура и величин отжима угля с боков выработок, охраняемых целиками.

В процессе моделирования ширина целика изменялась в интервале 5-40 м с шагом 5-10 м. Длина очистного выработанного пространства принята равной 500 м, длина лавы 300 м. Мощность пород между пластами изменялась от 0,5 до 10 м с шагом 0,5-2,0 м. Предел прочности пород между пластами при сжатии изменялся в пределах 20-40 МПа с шагом 1 МПа.

Мощность отрабатываемого пласта принята согласно табл. 2.1 равной 2,70 м. По результатам моделирования вычислялись параметры полного вектора упругих и упруго-пластических напряжений и деформаций, а также отношение остаточной прочности пород к исходной. В соответствии с рекомендациями [33], в качестве критерия устойчивости угольного целика и результатами шахтных исследований [23] принято отношение ширины зоны упругого деформирования угля в целике к его проектной ширине более 0,4.

На первом этапе изучалось распределение параметров напряжённно-деформированного состояния в ленточном угольном целике постоянной ширины между охраняемой подготовительной выработкой и очистным выработанным пространством.

На рис. 4.11 показаны эпюры распределения вертикальных и горизонтальных напряжений в угольном пласте в пределах целика шириной 30 м и в окрестности вентиляционного штрека 2-6. Ширина штрека принята

5,40 м, глубина разработки Н=500 м. Предел прочности угля при сжатии 10 МПа.

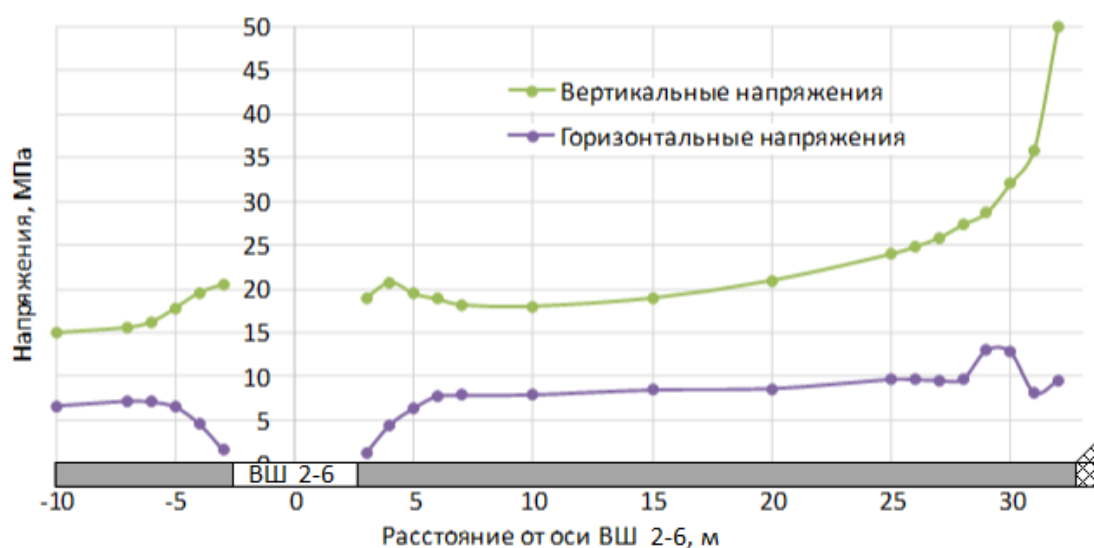


Рис. 4.11. Графики распределения вертикальных и горизонтальных напряжений сжатия в угольном целике шириной 30 м и в окрестности вентиляционного штрека 2-6

Как следует из графиков рис. 4.11, эпюра сжимающих вертикальных напряжений характеризуется наличием седлообразной зоны на расстоянии 5-17 м от штрека, что свидетельствует об устойчивом состоянии угольного целика. Это подтверждается графиками отношения остаточной прочности угля в целике к начальной прочности (рис. 4.12).

Для оценки устойчивости целика принят следующий критерий состояния угля [34]: отношение остаточной прочности к исходной $K_{оп} = \frac{\sigma_{сж}^{ост}}{\sigma_{сж}} = 0,7$ соответствуют условиям перехода угля в упруго-пластическое блочное состояние, а при $K_{оп} = \frac{\sigma_{сж}^{ост}}{\sigma_{сж}} \leq 0,5$ происходит разрушение угля, то есть оценивается как в запредельном состоянии. Целик принимается устойчивым, если отношение ширины зоны упругого деформирования угля в целике к его проектной ширине превышает 0,4, то есть

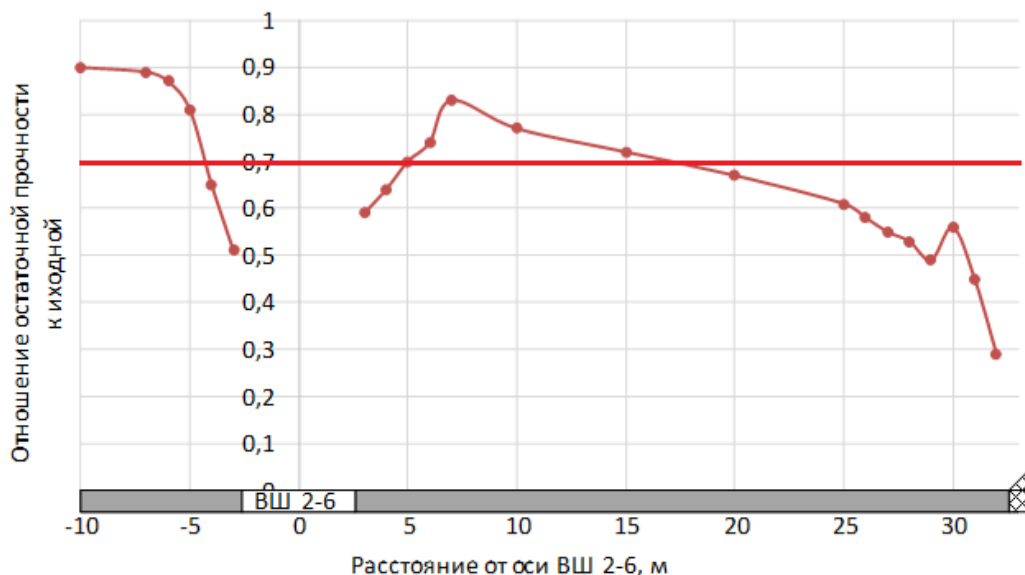


Рис. 4.12. Графики распределения отношения остаточной прочности угля к исходной прочности в угольном целике шириной 30 м и в окрестности вентиляционного штрека 2-6

$$K_{уст} = \frac{l_{уп}}{b} \geq 0,4, \quad (4.1)$$

где $K_{уст}$ – коэффициент устойчивости целика;

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

b – ширина целика, м.

Коэффициент $K_{уст} = 0,4$ подтверждён по результатам анализа эпюр опорного горного давления, измерения предельных величин отжима угля с боков и конвергенции кровля-почва охраняемого штрека, при которых выработка сохранялась в эксплуатационном состоянии (см. Приложение 1).

Таким образом, критерием устойчивости угольного целика между очистным выработанным пространством и подготовительной выработкой является отношение ширины зоны упругого деформирования угля в целике к его проектной ширине более 0,4.

Устойчивость угольного целика шириной 30 м подтверждается результатами шахтных измерений (см. параграф 2.4 настоящей работы), так как за весь период шахтных наблюдений в выработках длиной более 2 км

случаи разрушения угольных целиков в виде горных ударов не наблюдались. Однако устойчивость охраняемых угольными целиками выработок при мощности пород между пластами меньше 2 м была неудовлетворительной, что проявилось в виде пучения пород почвы (см. рис. 2.7), то есть в условиях эксперимента мощность пород междупластья является более значимым фактором по сравнению с шириной угольных целиков между штреками.

Для выявления влияния мощности пород между пластами и ширины угольного целика проведено численное моделирование напряжённо-деформированного состояния горного массива при разных сочетаниях ширины целика и мощности пород.

На рис. 4.13 показаны эпюры распределения вертикальных и горизонтальных напряжений в окрестности вентиляционного штрека 2-6 при ширине угольного целика 20 м.

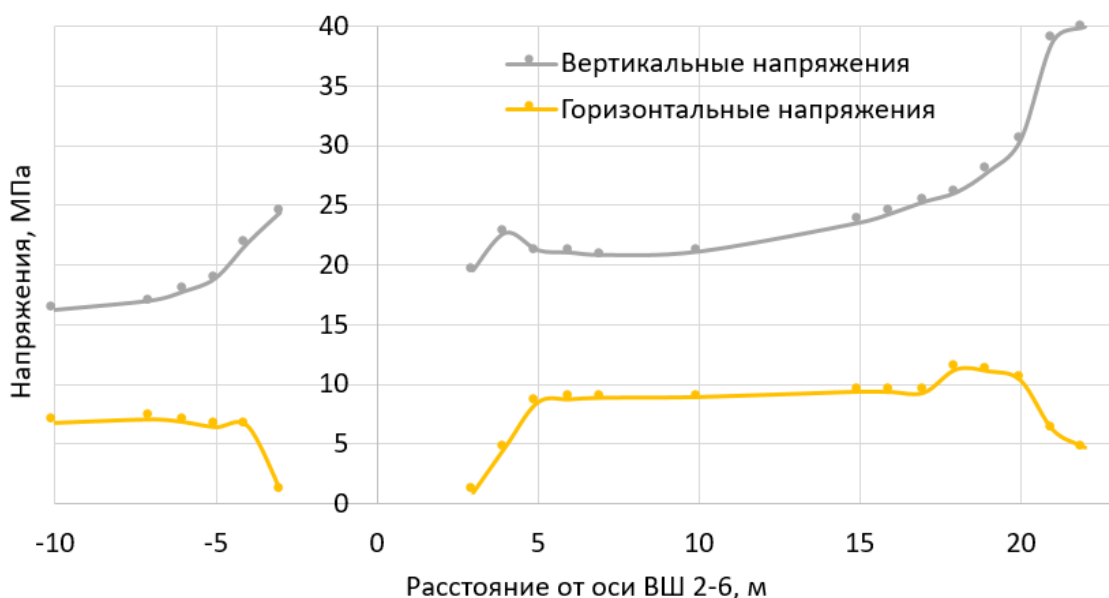


Рис. 4.13. Графики распределения вертикальных и горизонтальных напряжений сжатия в угольном целике шириной 20 м и в окрестности вентиляционного штрека 2-6

Из графиков рис. 4.13 следует, что по сравнению с графиками рис. 4.11 произошло перераспределение напряжений. Нагрузка на узкий целик уменьшилась и переместилась на бок выработки по падению пласта, то есть

возникли упруго-пластические деформации угля в целике и переход его в упруго-пластическое состояние. Это подтверждается графиками рис. 4.14, где показано изменение отношения остаточной прочности к исходной. Почти весь целик шириной 20 м можно рассматривать как упруго-пластическую область деформирования, в боках штрека уголь находится в запредельном состоянии.

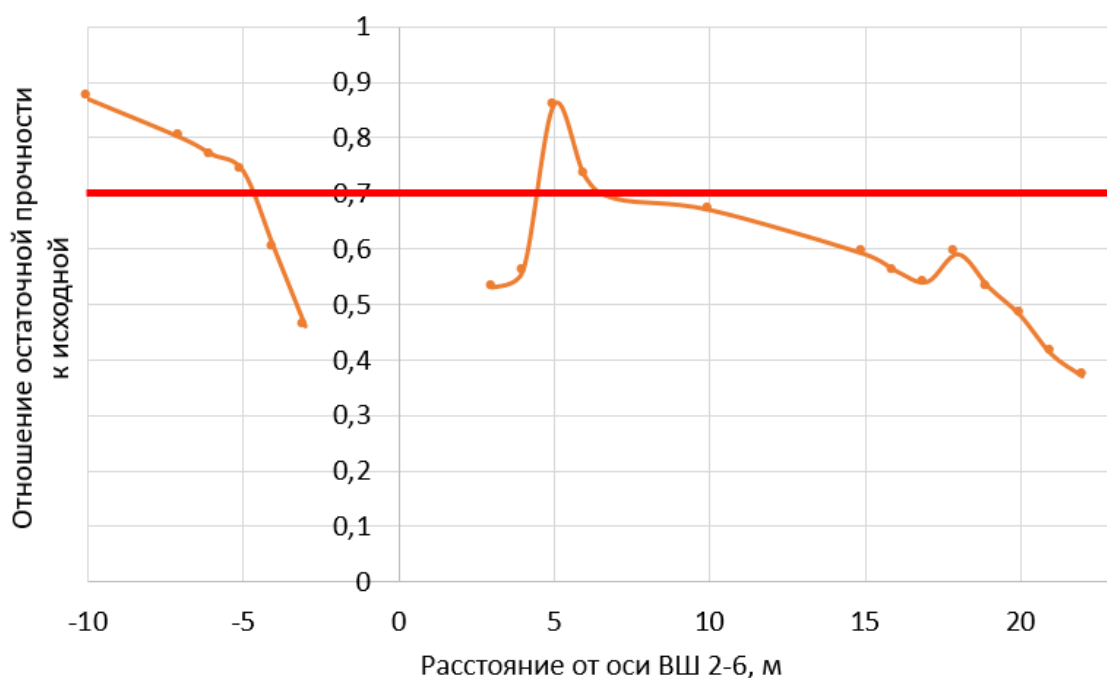


Рис. 4.14. Графики распределения отношения остаточной прочности угля к исходной прочности в угольном целике шириной 20 м и в окрестности вентиляционного штрека 2-6

Следовательно, ширина целика 20 м для горно-геологических условий пласта 2 недостаточная.

Для выбора оптимальной по критерию устойчивости ширины целика проведено моделирование при ширине целика 40 м (рис. 4.15 и 4.16). Из рисунков следует, что горное давление сосредоточено над краевой частью пласта со стороны очистного выработанного пространства, напряжения в окрестности вентиляционного штрека существенно снизились, уголь целика почти полностью находится в условиях упругого деформирования (рис. 4.16).

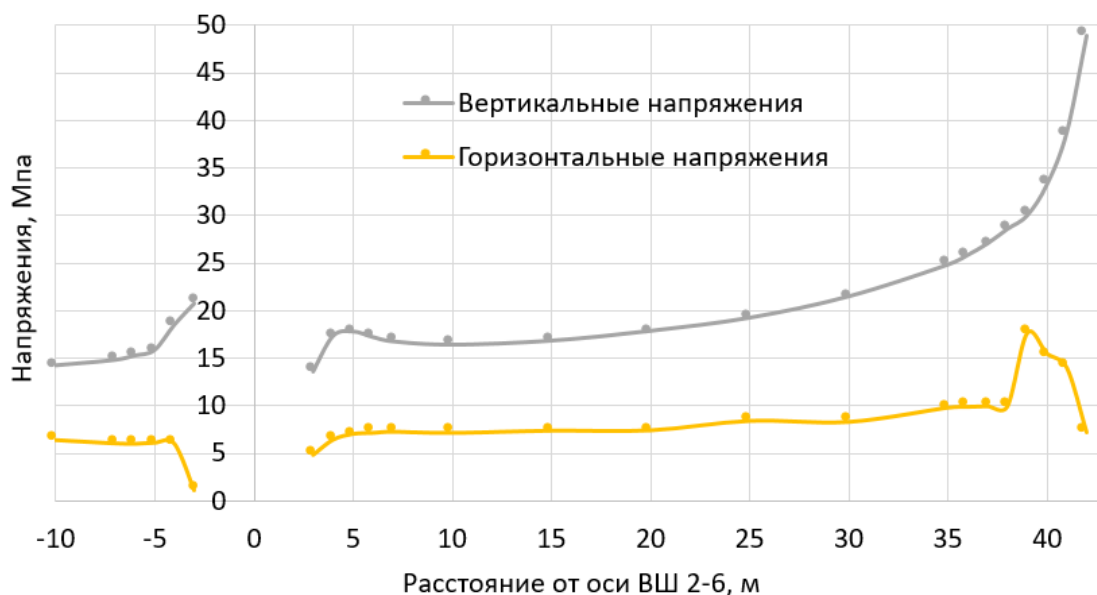


Рис. 4.15. Графики распределения вертикальных и горизонтальных напряжений сжатия в угольном целике шириной 40 м и в окрестности вентиляционного штрека 2-6

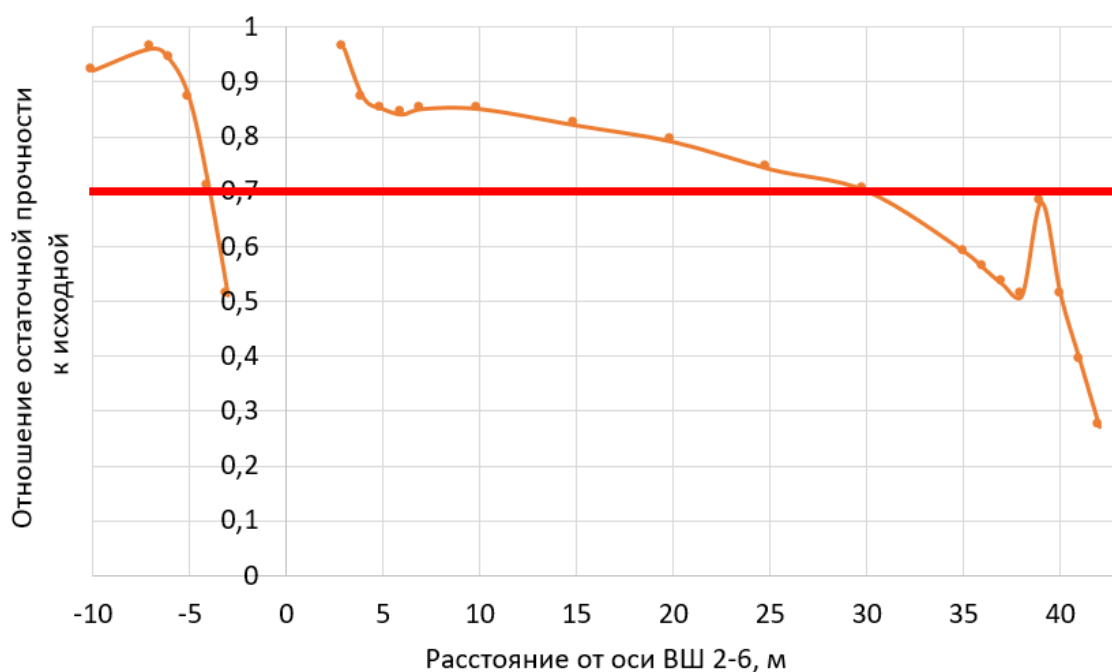


Рис. 4.16. Графики распределения отношения остаточной прочности угля к исходной прочности в угольном целике шириной 40 м и в окрестности вентиляционного штрека 2-6

На основе анализа графиков распределения напряжений и состояния угля в целиках, а также исследований ВНИМИ [33], утверждать, что для условий пласта 2 оптимальным является целик шириной 30 м, при увеличении глубины разработки необходимо увеличить ширину до 35-40 м. Это позволит уменьшить риск возникновения динамических явлений, так как при приближении размеров целиков к предельным резко возрастает коэффициент интенсивности напряжений. Этот рост сопровождается увеличением скорости высвобождения упругой энергии и повышением опасности катастрофического разрушения целика. Поэтому в горно-геологических и горнотехнических условиях, при которых получены графики на рис. 4.11, оптимальной является ширина целика 30 м.

4.3 Исследование влияния мощности пород между сближенными пластами на геомеханические параметры массива горных пород в окрестности очистного забоя и пересекаемых передовых выработок

На современных угольных шахтах для подготовки и отработки угольных пластов высокопроизводительными очистными забоями длина выемочных столбов составляет 2-4 км. Для оконтуривания таких выемочных столбов осуществляется проведение протяжённых подготовительных выработок. В соответствии с требованиями Правил безопасности [29] для обеспечения выхода людей в аварийной ситуации, а также проветривания тупиковых забоев, подготовительные выработки соединяются диагональными промежуточными печами или сбойками (см. рис. 2.5).

В процессе отработки длинных выемочных столбов возникает необходимость перехода очистным забоем диагональных выработок, что иногда сопровождается неплановой остановкой очистного забоя для выполнения профилактических работ по упрочнению сокращаемого целика.

Остановка очистного забоя только на одни сутки приводит к убыткам 4-10 млн. рублей. Для предотвращения обрушения пород кровли и разрушения сокращаемых угольных целиков между очистным забоем и диагональной выработкой применяют различные способы усиления крепи, упрочнения пород кровли и угольного массива в боках [49, 82]. Представленный в качестве примера на рис. 4.17 паспорт крепления диагональной печи одной из шахт Ерунаковского района включает анкера разных типов, установленные в кровлю и бока выработки.

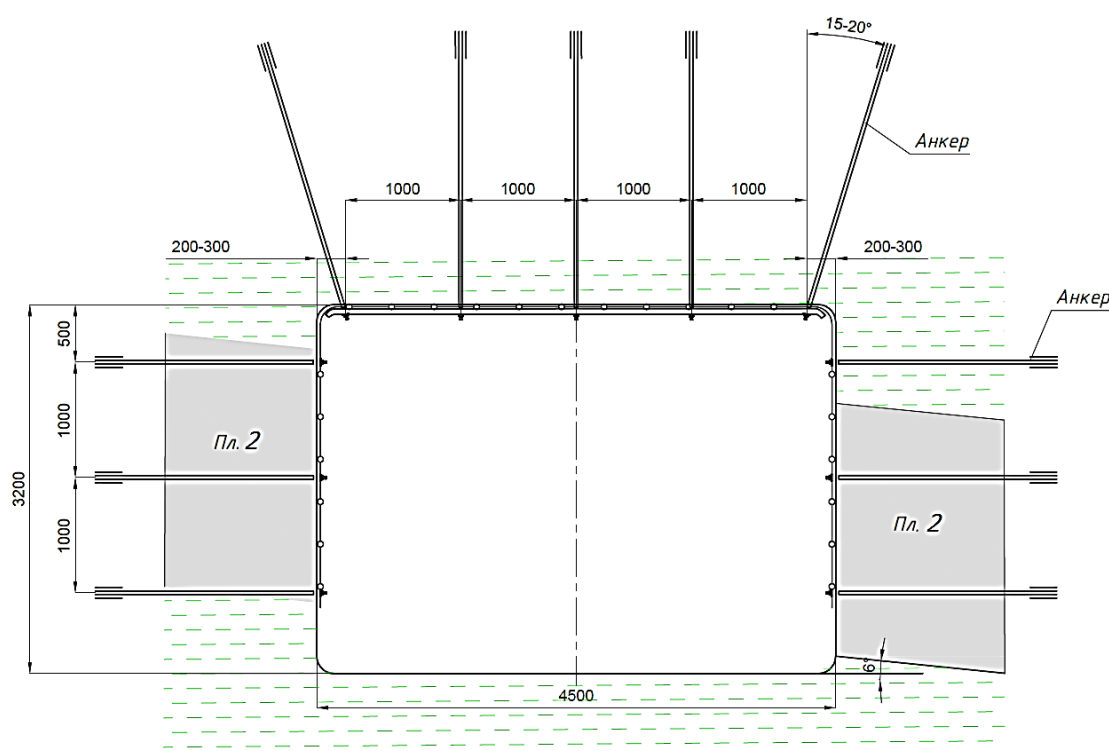


Рис. 4.17. Паспорт крепления диагональной выработки впереди очистного забоя

Однако на практике типовые паспорта крепления и поддержания диагональных выработок не всегда обеспечивают ритмичность работы очистного забоя и безопасные условия для персонала, так как не учитывают особенности напряжённо-деформированного состояния массива горных пород при отработке весьма сближенных пластов.

Для выявления закономерностей распределения напряжений, деформаций и зон предразрушения угольного пласта и вмещающих пород в окрестности диагональной выработки и очистного забоя, проведены шахтные и аналитические исследования.

По результатам шахтных исследований 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.

Для изучения влияния мощности пород между сближенными пластами на геомеханические параметры массива горных пород в окрестности очистного забоя и пересекаемых передовых выработок применён метод конечных элементов, описание программного обеспечения которого изложено во второй главе настоящей работы.

Разработанная программа исследований включала определение по результатам моделирования вертикальных и горизонтальных напряжений, смещений, отношения остаточной прочности пород к исходной. Ширина сокращаемого угольного целика между очистным забоем сокращалась в пределах 10-1 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.

Учитывая большой объём полученной информации о напряжённо-деформированном состоянии массива горных пород в окрестности диагональной пересекаемой очистным забоем выработки и по результатам анализа таблиц и графиков распределения геомеханических параметров, были выявлены наиболее значимые факторы и зависимости, которые приведены ниже.

4.3.1 Исследование влияния на напряжённо-деформированное состояние массива горных пород мощности пород между пластами при расстоянии между очистным забоем и пересекаемой выработкой 10 м

На рис. 4.18 представлены изолинии распределения вертикальных напряжений в окрестности пересекаемой выработки и очистного забоя при ширине сокращаемого целика 10 м и переменной мощности пород между пластами.

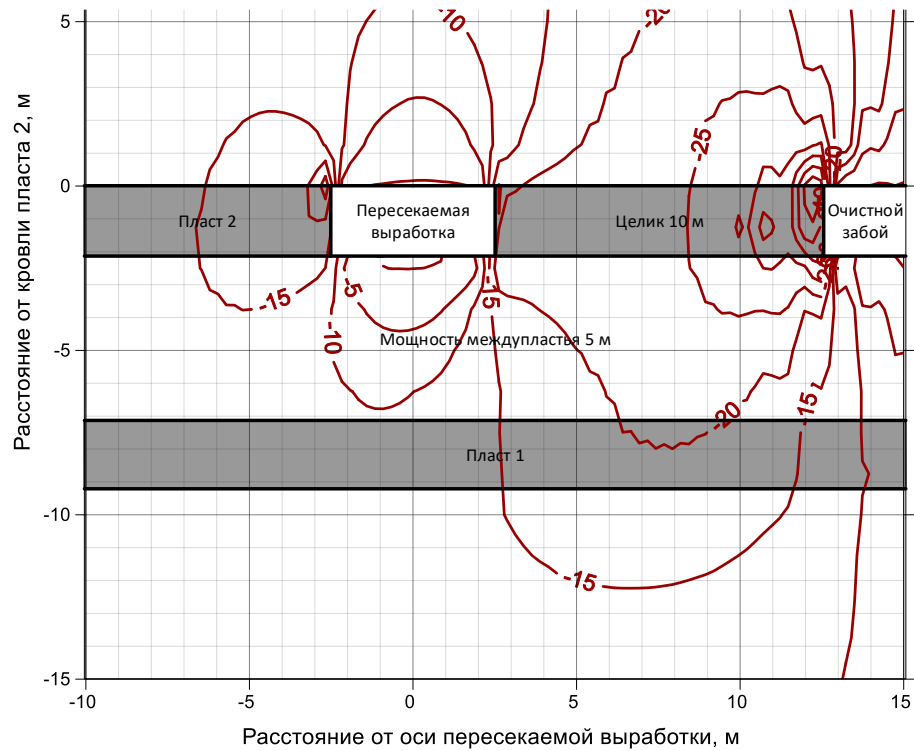
Согласно графикам, при изменении мощности пород между пластами в пределах 1,4-10,0 м качественно характер распределения вертикальных напряжений существенно не отличается.

Этот вывод подтверждается результатами анализа распределения горизонтальных напряжений и смещений в массиве горных пород, где также не выявлены принципиальные отличия.

Наиболее существенно уменьшение мощности пород между пластами влияет на форму и размеры зон предразрушения угля и пород. При этом рассмотрено два варианта состояния геотехнологической системы «диагональная выработка – очистной забой»: при равномерном движении очистного забоя, когда отсутствуют простои лавы и время не оказывает влияния на развитие пластических деформаций угля и пород, и при остановках лавы. В последнем случае во время простоя увеличиваются пластические деформации и снижается остаточная прочность угля и пород.

На рис. 4.19 показаны графики изменения отношения остаточной прочности угля и вмещающих пород к исходной при ширине целика 10 м и мощности пород между пластами 5,0 и 1,4 м при равномерном движении очистного забоя.

а



б

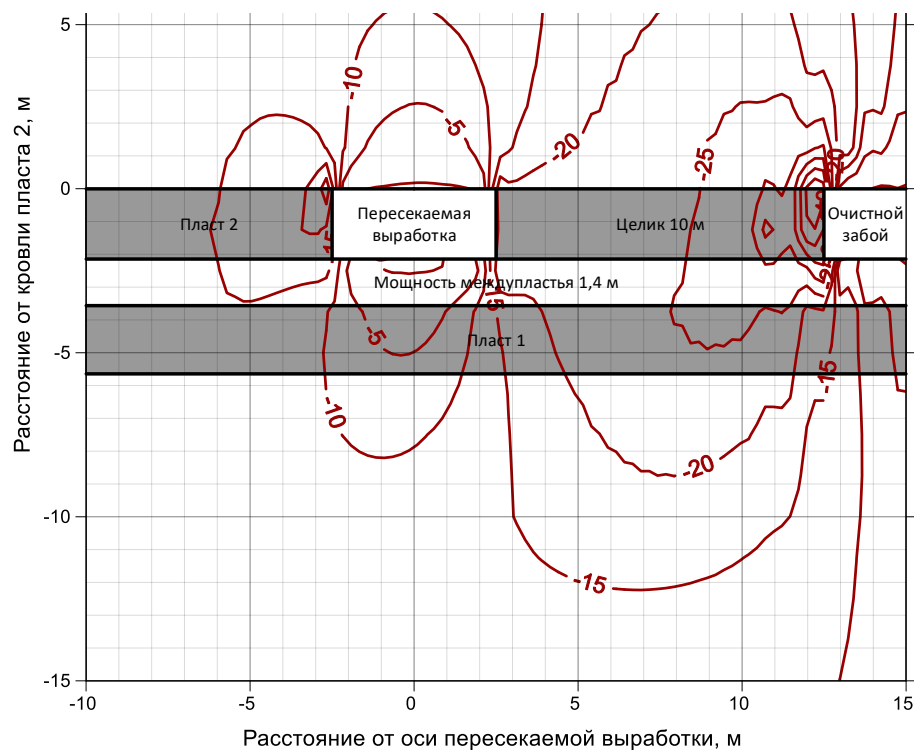
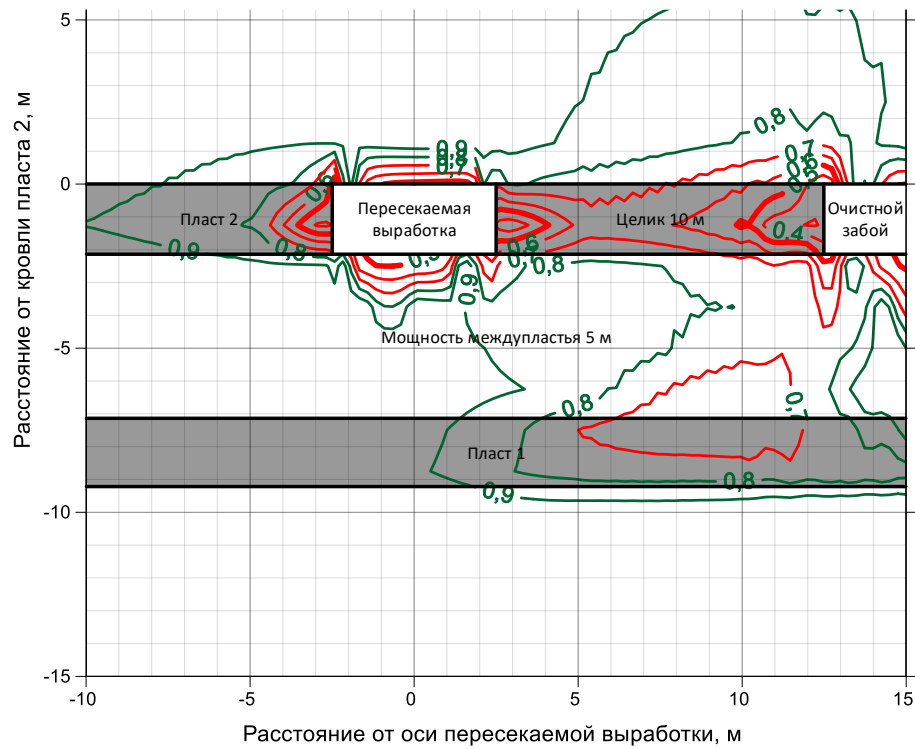


Рис. 4.18. Графики изменения вертикальных напряжений в окрестности пересекаемой выработки и очистного забоя при ширине сокращаемого целика 10 м и мощности пород между пластами: а – 5 м; б – 1,4 м

а



б

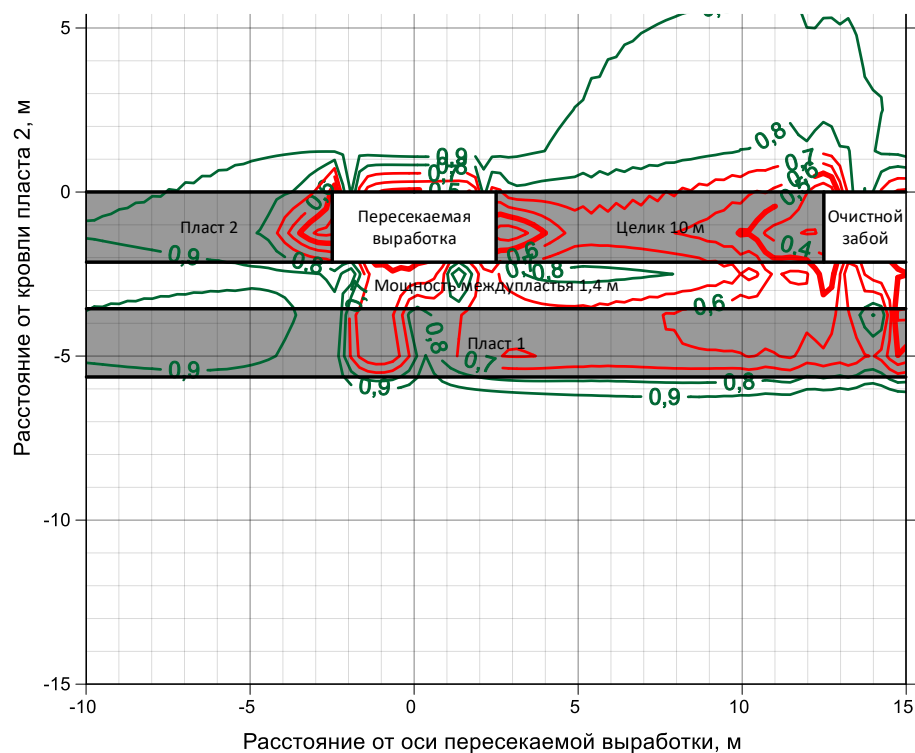


Рис. 4.19. Графики изменения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной прочности в окрестности пересекаемой выработки и очистного забоя при равномерном движении лавы, ширине сокращаемого целика 10 м и мощности пород между пластами: а – 5 м; б – 1,4 м

Согласно рис. 4.19а, угольный целик шириной 10 м 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, что может привести к отжиму угля. Как показали результаты шахтных исследований для этих условий паспорт крепления, приведённый на рис. 4.17, обеспечит устойчивость пересекаемой выработки при ширине целика 10 м.

Однако возникает риск прорыва по трещинам разлома метана из нижнего пласта, в котором под угольным целиком формируется зона предразрушения, что приведёт к росту пористости и проницаемости угля и пород.

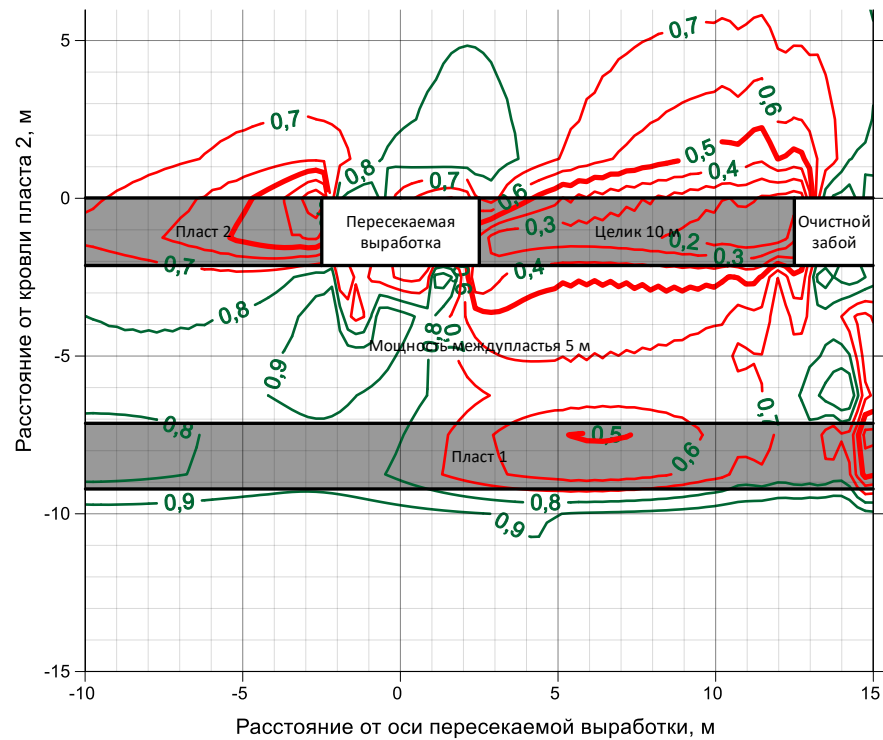
Резкое ухудшение геомеханической ситуации происходит, даже при равномерном движении лавы, при уменьшении мощности пород между пластами (рис.4.19б). В этом случае распределение отношения остаточной прочности пород к исходной в отрабатываемом угольном пласте аналогичное рис. 4.19а, а в почве пласта и пересекаемой выработки нижний угольный пласт и породы между пластами находятся в зоне предразрушения согласно диаграмме рис. 2.2.

Угольный целик воздействует на нижний пласт как штамп. Следствием предразрушения нижнего пласта и пород между пластами является интенсивное пучение пород почвы в пересекаемой выработке, по аналогии с рис. 2.7, и в очистном забое. При возникновении дополнительных трещин в нижнем пласте увеличиваются его проницаемость и миграция метана в выработку верхнего пласта, в том числе в форме внезапного выброса.

При аварийной остановке очистного забоя на период более одного месяца интенсифицируются процессы ползучести угля и пород (рис. 4.20).

Это подтверждается результатами анализа характера распределения отношения остаточной прочности пород к исходной. При анализе проводилось попарное сравнение графиков на рис. 4.19а и 4.20а, и 4.19б и 4.20б.

а



б

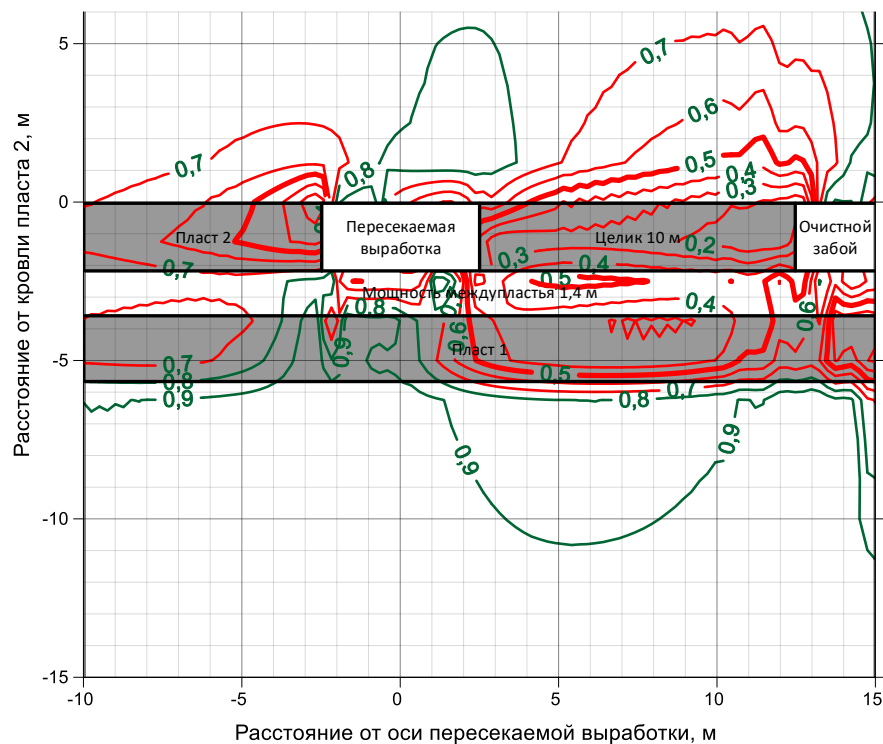


Рис. 4.20. Графики изменения отношения остаточной прочности пород к исходной в окрестности пересекаемой выработки и очистного забоя при остановке забоя на период более одного месяца, ширина сокращаемого целика 10 м, мощность пород между пластами: а – 5 м; б – 1,4 м

При длительных остановках очистного забоя (рис. 4.19а и 4.20а) угольный целик за счёт развития упруго-пластических деформаций и перехода угля и пород в запредельное состояние почти полностью разрушается. По контактам кровли и почвы отрабатываемого пласта происходит выдавливание угольного целика шириной 10 м в сторону очистного забоя и пересекаемой выработки до 80 мм. В надрабатываемом угольном пласте под целиком верхнего пласта возникает зона разрушения угля.

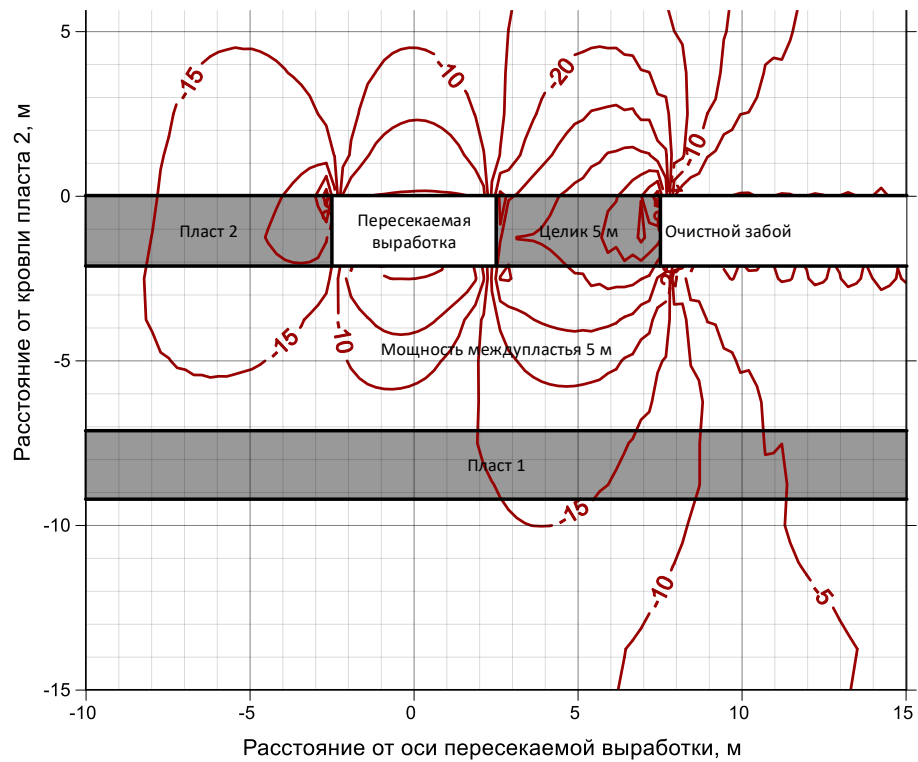
При остановках лавы и уменьшении мощности пород между пластами до 1,4 м (рисунки 4.19б и 4.20б) процессы разрушения угля в нижнем пласте интенсифицируются, возможно образование трещин разлома с залповым выделением метана. Высока вероятность возникновения внезапного выброса угля и газа.

4.3.2 Исследование влияния на напряжённо-деформированное состояние массива горных пород мощности пород между пластами при расстоянии между очистным забоем и пересекаемой выработкой менее 10 м

По мере движения очистного забоя происходит сокращение ширины целика до пересекаемой выработки и изменение напряжённо-деформированного состояния массива горных пород. Для выявления закономерностей распределения напряжений, смещений и отношения остаточной прочности пород к исходной при сокращении ширины целика от 10 до 1,0 м было проведено численное моделирование.

На рис. 4.21 показаны изолинии вертикальных напряжений в массиве горных пород при ширине целика 5 и 1 м. По результатам анализа графиков распределения вертикальных напряжений, приведённых на рисунках 4.18а, 4.21а и 4.21б, установлено, что при сокращении ширины угольного целика от 10 до 1 м происходит постепенное увеличение коэффициента концентрации вертикальных напряжений в окрестности пересекаемой выработки.

а



б

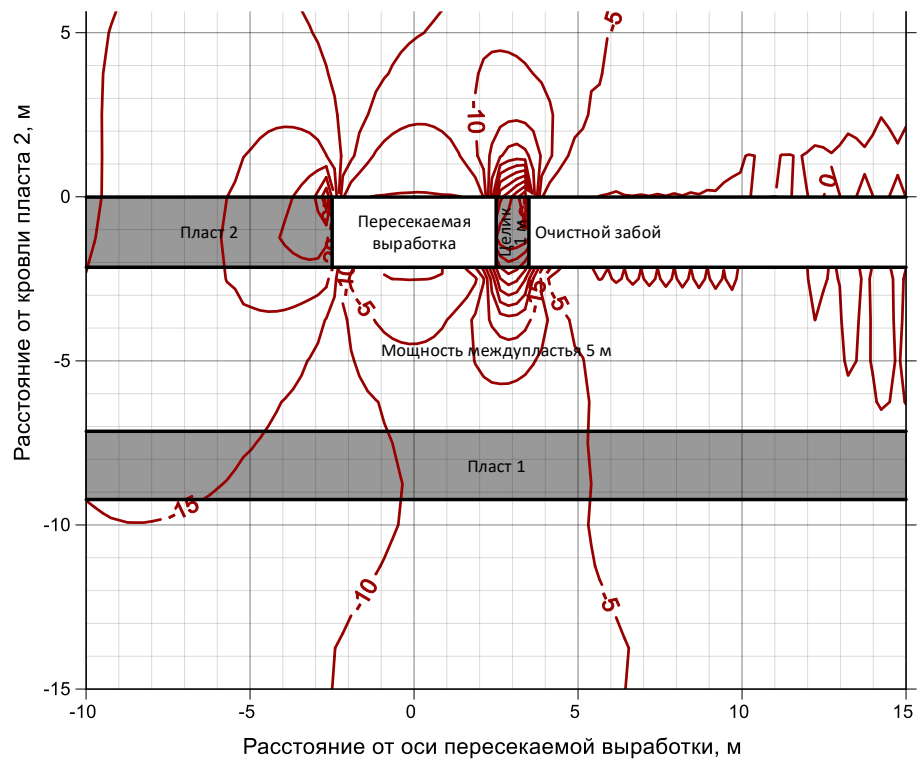


Рис. 4.21. Графики изменения вертикальных напряжений в окрестности пересекаемой выработки и очистного забоя при ширине сокращаемого целика: а – 5 м; б – 1,0 м, $h=5$ м

При сокращении ширины целика вес зависающих над выработанным пространством пород кровли постепенно перераспределяется на краевую часть пласта у левого бока выработки. В этой зоне возрастают ширина зоны опорного горного давления и коэффициент концентрации вертикальных напряжений.

Горизонтальные напряжения в окрестности пересекаемой выработки при сокращении ширины угольного целика от 10 до 1 м увеличиваются в 1,5 раза, а вертикальные смещения пород кровли над выработкой – в 1,2 раза.

При сокращении ширины целика вес зависающих над выработанным пространством пород кровли постепенно перераспределяется на краевую часть пласта у левого бока выработки. В этой зоне возрастает ширина зоны опорного горного давления и коэффициент концентрации вертикальных напряжений.

Горизонтальные напряжения в окрестности пересекаемой выработки увеличиваются в 1,5 раза, а вертикальные смещения пород кровли над выработкой – в 1,2 раза. Уголь в целике при его ширине меньше 5 м разрушается, то есть потребуются дополнительные мероприятия для его упрочнения.

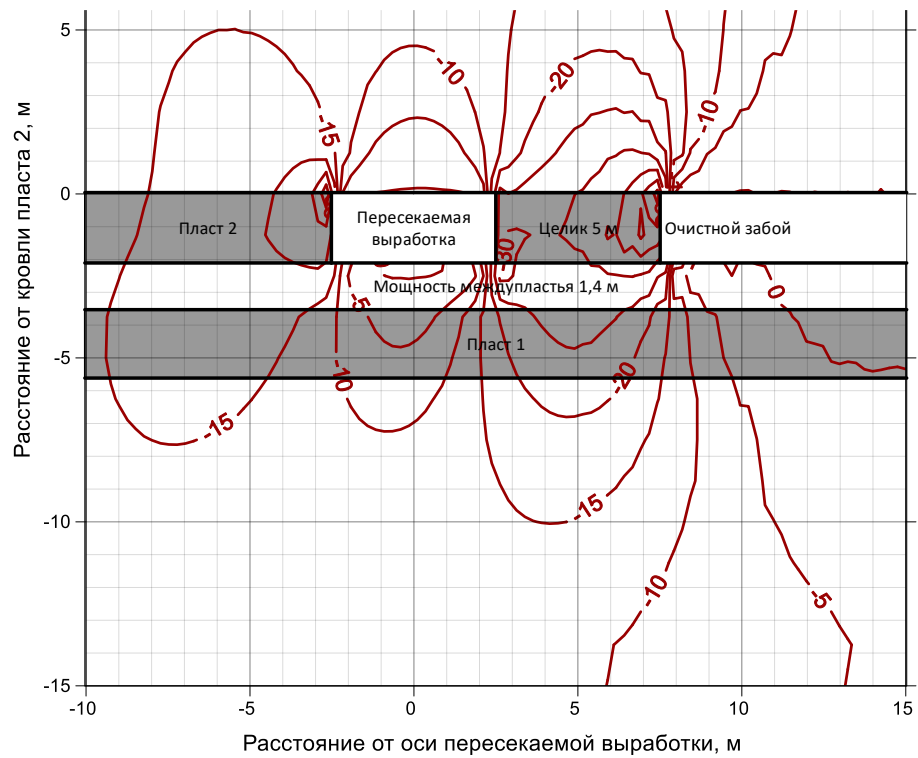
Для оценки влияния мощности пород между пластами на устойчивость сокращаемого угольного целика на рис. 4.22 построены графики распределения вертикальных напряжений при ширине целика 5,0 и 1,0 м и мощности пород между пластами 1,4 м. По результатам сравнения геомеханических параметров установлено, что при уменьшении мощности пород между пластами от 10 до 1,4 м вертикальные напряжения в угольном целике в окрестности пересекаемой выработки снизились на 8-10%.

После статистической обработки результатов моделирования получена следующая эмпирическая зависимость

$$K_B = 1,2 + \left(0,3 \frac{R_{с.п.}}{R_{п}} + 2,7\right) e^{-ab_{ц}}, \quad (4.2)$$

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

а



б

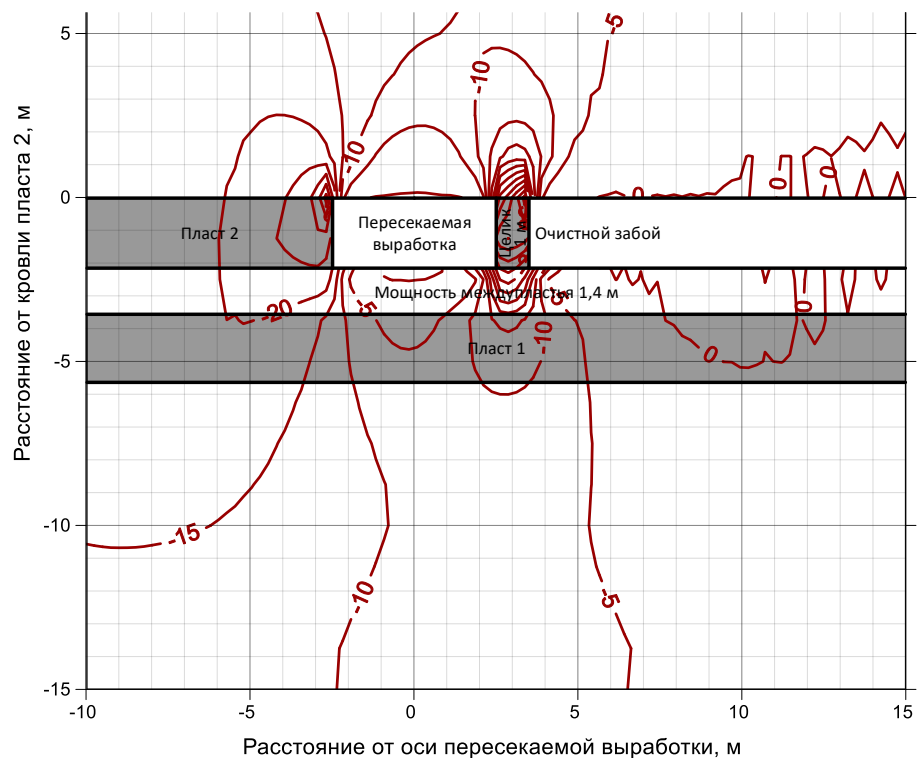


Рис. 4.22. Графики изменения вертикальных напряжений в окрестности пересекаемой выработки и очистного забоя при мощности пород между пластами 1,4 м и ширине сокращаемого целика и а – 5 м; б – 1,0 м

$b_{ц}$ - ширина сокращаемого угольного целика, м;

$R_{с.п.}$ - расчётное сопротивление пород при сжатии почвы отрабатываемого пласта, с учётом сопротивления пород между сближенными пластами, угля и пород почвы сближенного надрабатываемого пласта;

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

a – эмпирический коэффициент.

Для условий рисунков 4.18а, 4.21а и 4.21б при глубине разработки 500 м коэффициент $a=0,11\text{м}^{-1}$.

В формуле мощность пород между сближенными пластами учитывается при определении расчётного сопротивления $R_{с.п.}$ по формуле (2.7) согласно рекомендациям ВНИМИ [26].

После определения коэффициента концентрации вертикальных напряжений по графикам или формуле (4.2) производится расчёт параметров крепи пересекаемой выработки.

Выбор параметров крепи пересекаемой выработки осуществляется по действующим методикам и инструкциям [19, 26, 31, 54, 86]. Для этого предварительно согласно рекомендациям ВНИМИ [86] вычисляется приведённая глубина разработки по формуле

$$H_{пр} = K_{в}H_{ф}, \quad (4.3)$$

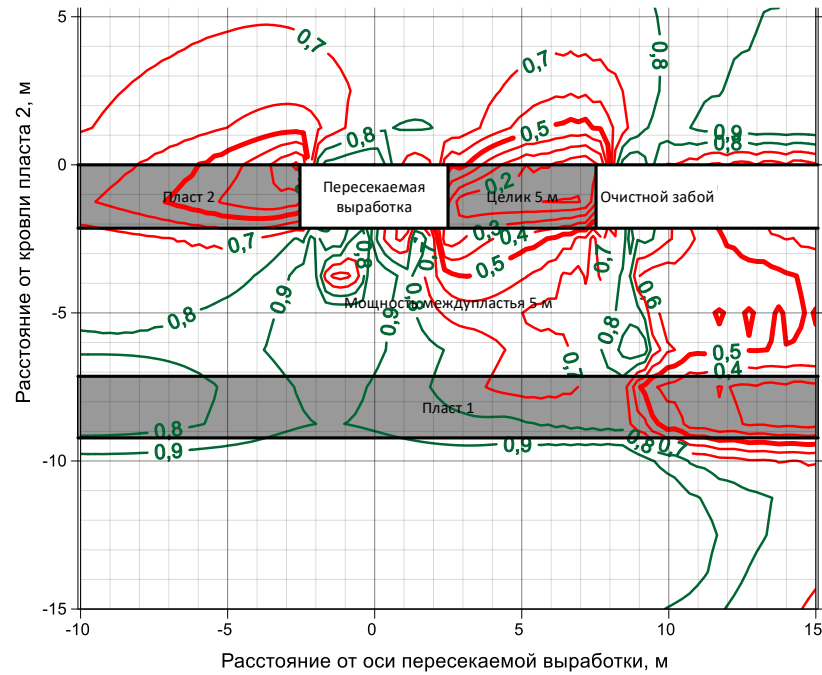
где $H_{пр}$ – приведённая глубина разработки;

$H_{ф}$ – фактическая глубина разработки.

Учитывая, что на современных угольных шахтах основным видом крепи является анкерная крепь, см. рис. 4.17, то для выбора длины и типа крепи проведено моделирование процессов деформирования угля и пород в окрестности пересекаемой выработки. В качестве критерия для определения границ зон предразрушения угля и пород принят, согласно (2.4), отношение остаточной прочности пород к исходной $K_{пр} = 0,5$.

Согласно рис. 4.23 угольный целик между очистным забоем и пересекаемой выработкой будет частично разрушен при мощности пород

а



б

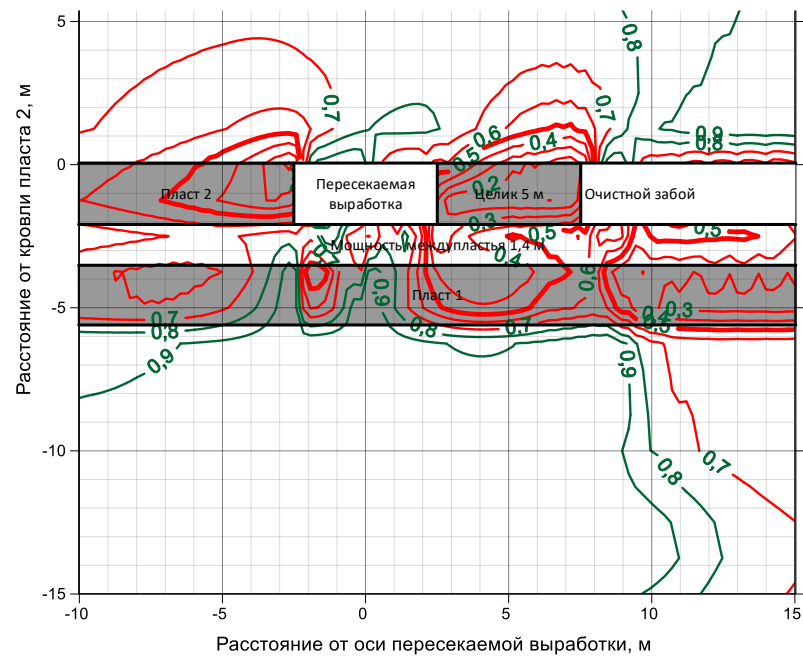


Рис. 4.23. Графики изменения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной в окрестности пересекаемой выработки и очистного забоя при ширине сокращаемого целика 5 м и мощности пород между пластами:
а – 5 м; б – 1,4 м

между пластами меньше 5 м. Необходимо разработать мероприятия по упрочнению угля в целике.

Вызывает опасение состояние пород кровли над целиком, при обрушении которых возможно образование впереди очистного забоя вывалов высотой до 1,5 м. При мощности пород между пластами меньше двух метров возможно слияние зон разрушения угля верхнего и нижнего пластов, интенсивное пучение пород почвы в пересекаемой выработке и очистном забое. Соответственно рекомендуется скорректировать распор гидростоек секций механизированной крепи.

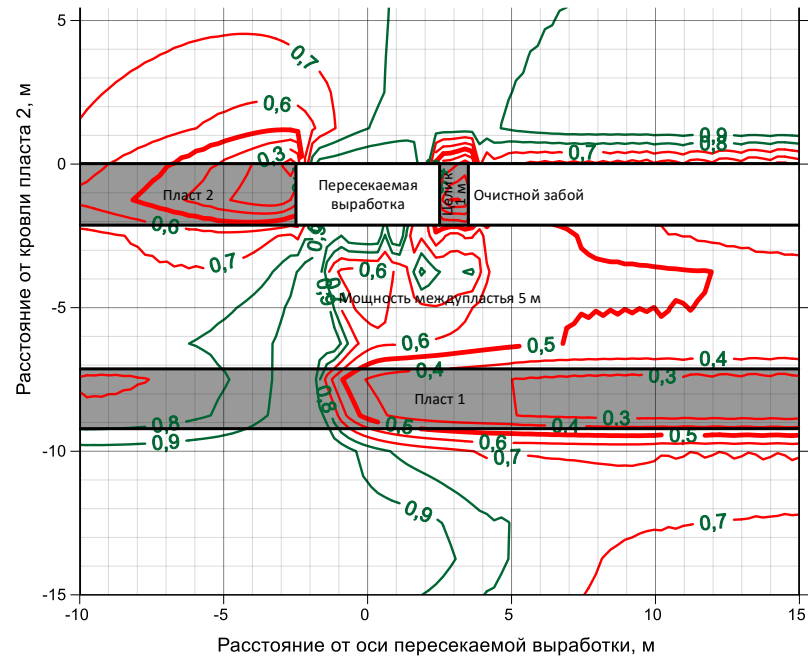
Вследствие частичного разрушения угольного целика и снижения его несущей способности вес зависающих над очистным выработанным пространством пород кровли передаётся на краевую часть угольного пласта (на рис. 4.23 левый бок пересекаемой выработки). Это приводит к разрушению угля на ширину до 5 м в боку выработки. Следовательно, при выборе паспорта крепления выработки, необходимо проводить упрочнение угольного массива.

Вероятно, повышение интенсивности выделения метана из надрабатываемого угольного пласта, при разгрузке которого вследствие перехода метана из газогидратного состояния в газообразное, возможен залповый прорыв газа в выработки верхнего пласта.

Более критическая геомеханическая ситуация возникает при сокращении ширины целика между очистным забоем и пересекаемой выработкой до одного метра (рис. 4.24).

Согласно рис. 4.24 при мощности пород между пластами меньше 5 м угольный целик шириной не более 5 м между пересекаемой выработкой и очистным забоем полностью разрушен. На рис. 4.24б при мощности пород между пластами менее 2 м практически два сближенных пласта следует рассматривать как один, отрабатываемый слоями. Нижний пласт подвергается интенсивному разрушению как под угольным целиком, так и под краевой частью верхнего пласта (левый бок пересекаемой выработки).

а



б

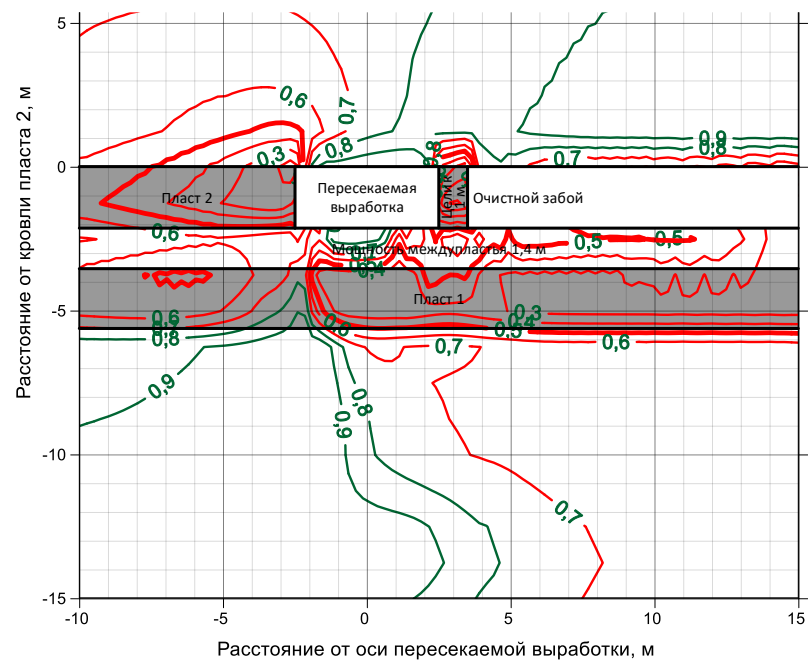


Рис. 4.24. Графики изменения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной в окрестности пересекаемой выработки и очистного забоя при ширине сокращаемого целика 1 м и мощности пород между пластами: а - 5 м; б – 1,4 м

При мощности пород между пластами меньше 2 м и ширине целика в пределах 1-5 м повышается риск возникновения аварийной ситуации по следующим причинам:

- внезапный выброс или плавное выдавливание угля из целика;
- уменьшение поперечного сечения передовой выработки вследствие выдавливания угля с боков и интенсивного пучения пород и надрабатываемого пласта.

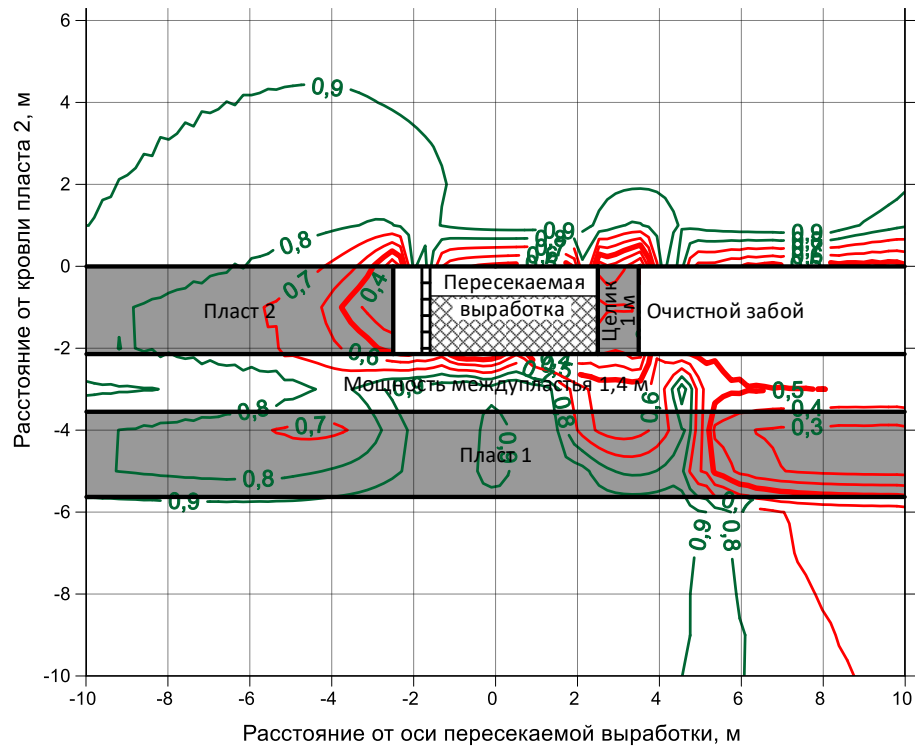
Для предотвращения аварийных ситуаций предлагается неполная закладка пересекаемой выработки. При ширине целика между пересекаемой выработкой и очистным забоем более ширины зоны опорного горного давления, определяемой по инструкции [19], осуществляется неполная закладка выработки. В качестве закладочного материала предлагается использовать породу, извлечённую из выемочных штреков при поддирке в них почвы. При частичной закладке для обеспечения проветривания за счёт общешахтной депрессии и перепуска воды оставляется 15-20 % поперечного сечения выработки не заполненным (рис.4.25а).

По результатам сравнения характера и величин распределения отношение остаточной прочности пород к исходной на рисунках 4.24б и 4.25а следует, что принципиальные отличия не выявлены. То есть частичная закладка выработки не обеспечивает улучшение геомеханической ситуации.

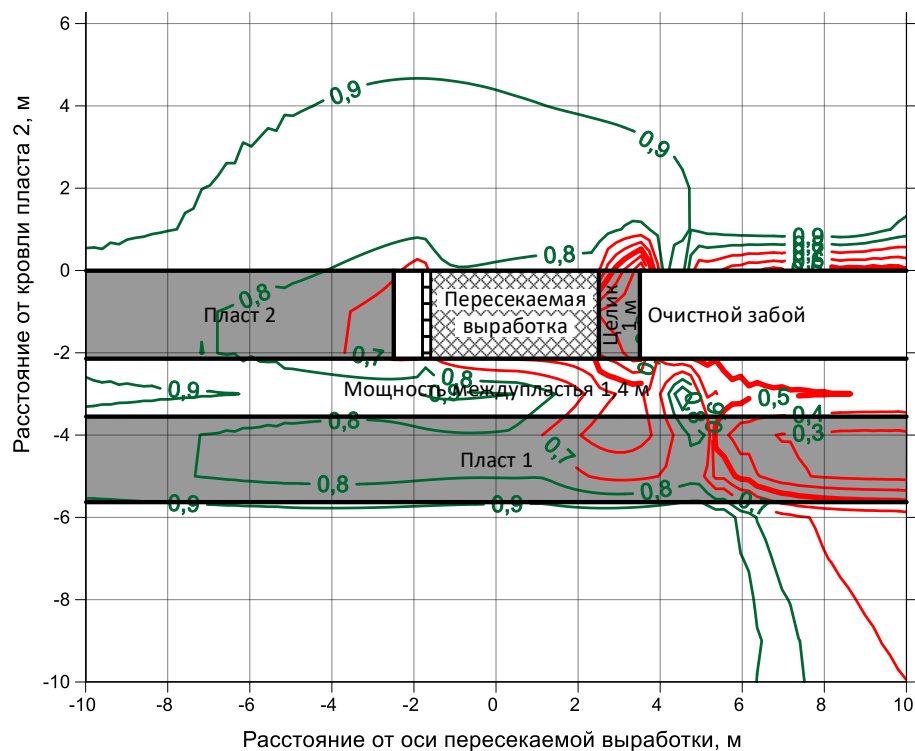
На втором этапе по мере приближения очистного забоя к выработке происходит увеличение объёма пучащих пород в выработке, что приведёт к полному заполнению её поперечного сечения (рис. 4.25б). В этом случае ширина зоны предразрушения угля в краевой части пласта (левый бок выработки) составляет 1,5 м по сравнению с 7 м на рис. 4.24б, на котором закладка не указана.

Технологическая схема закладочных работ представлена на рис. 4.26, согласно которой осуществляется отшив части поперечного сечения выработки для прохода людей и вентиляции, с последующим размещением в выработке пород, вспученных в штреках.

а



б



О

Рис. 4.25. Графики изменения отношение 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 пучащими породами

При подходе очистного забоя за счёт пучения пород и деформаций боков выработки происходит заполнение поперечного сечения выработки, что существенно сокращает зону разрушения вмещающих выработку пород и обеспечивается её устойчивость при пересечении очистным забоем (см. рис. 4.25).

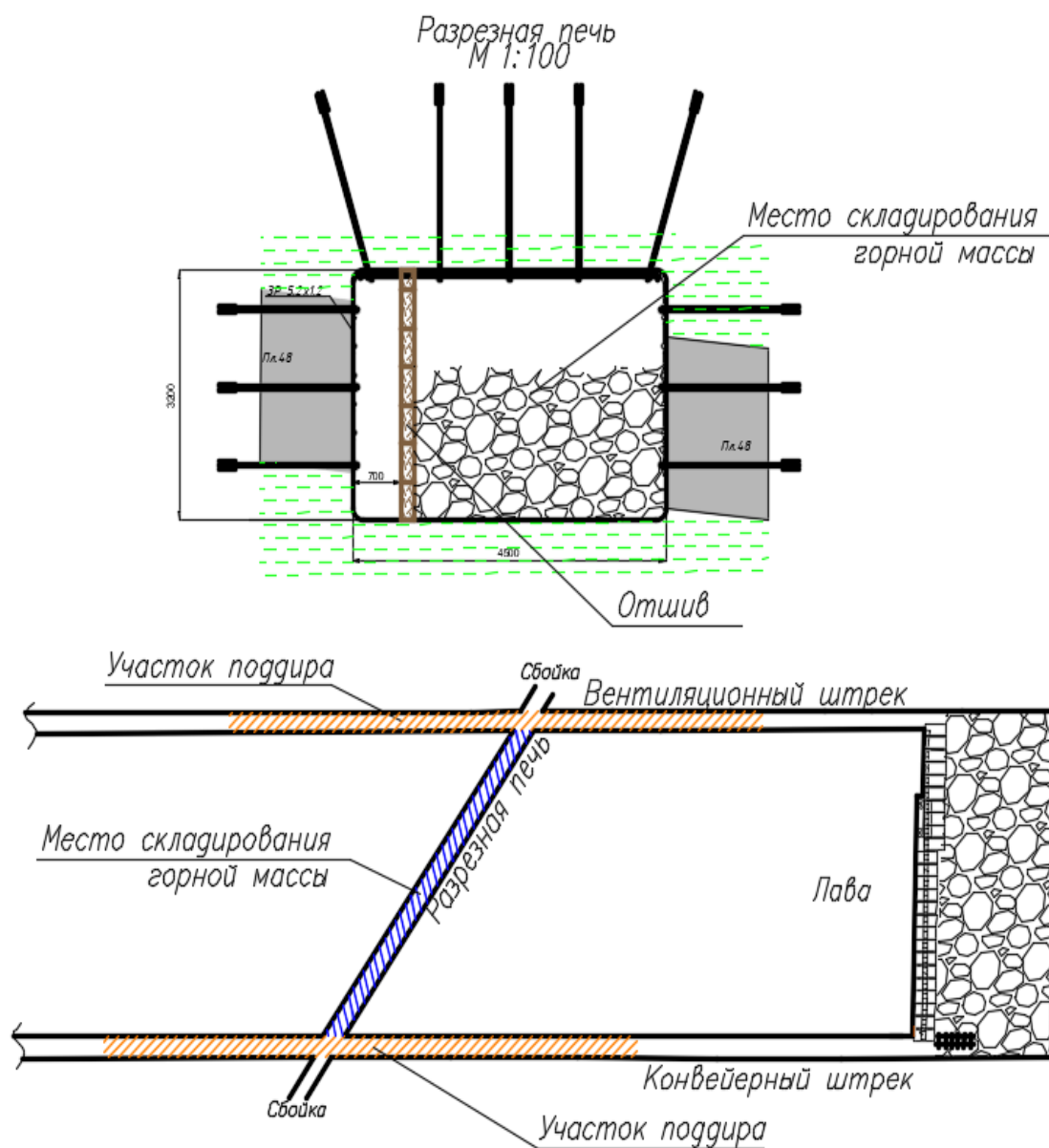


Рис. 4.26. Технологическая схема частичной закладки диагональной выработки

4.4 Выводы

1. По результатам исследований влияния формы и размеров угольных целиков между вскрывающими и подготавливающими выработками на весьма сближенных угольных пластах установлено следующее:

- в геотектоническом поле напряжений при коэффициенте бокового распора $\lambda=1$ следует ожидать увеличение размеров зон разрушения пород в боках выработок, особенно в угольных пластах, так как из-за меньшей прочности угля по сравнению с вмещающими породами под влиянием горизонтальных напряжений происходит выдавливание углепородной массы в выработки;

- по результатам анализа характера распределения вертикальных смещений в окрестности параллельных вскрывающих выработок можно утверждать, что соседние выработки оказывают взаимное влияние, это подтверждается формированием общей зоны сдвижения пород кровли и частично почвы;

- в пределах всей зоны сдвижения над параллельными вскрывающими выработками в окрестности каждого уклона формируется локальная подзона в виде полуэллипсов, оси которых наклонены в середину общей зоны сдвижения;

- предлагается поэтапное изменение паспорта крепления сбоек при проведении их между вскрывающими выработками на сближенных пластах, для каждого этапа установлены формы и размеры зон запредельного состояния пород и разработаны паспорта крепления выработок.

2. По результатам моделирования и шахтных исследований геомеханических процессов в угольных целиках между выемочными столбами при подготовке и отработке весьма сближенных угольных пластов обоснован следующий критерий оценки состояния угля в пласте: отношение остаточной

прочности к исходной $K_{оп} = \frac{\sigma_{сж}^{ост}}{\sigma_{сж}} = 0,7$ соответствуют условиям перехода угля

в упруго-пластическое состояние, а при $K_{оп} = \frac{\sigma_{сж}^{ост}}{\sigma_{сж}} \leq 0,5$ происходит

разрушение угля, то есть состояние угля в целике оценивается как запредельное. Целик принимается устойчивым, если отношение ширины зоны упругого деформирования угля в целике к его проектной ширине превышает 0,4.

3. По результатам исследования влияния мощности пород между сближенными пластами на геомеханические параметры массива горных пород в окрестности очистного забоя и пересекаемых передовых выработок при глубине разработки 500м установлено:

- 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 5m за счёт развития упруго-пластических деформаций и перехода угля и пород в запредельное состояние почти полностью разрушается, по контактам кровли и почвы отрабатываемого 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.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты, выводы и рекомендации заключаются в следующем:

1. Разработан алгоритм моделирования напряжённо-деформированного состояния углепородного 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 многоштрековой 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 опасна 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 многоштрековой 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 5m за счёт развития упруго-пластических деформаций и перехода угля и пород в запредельное состояние почти полностью разрушается, по контактам кровли и почвы отрабатываемого 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 5m 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 «Южкузбассуголь».

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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка весьма сближенных пластов на шахтах Кузбасса / П.В. Егоров, Б.В. Красильников, С.И. Калинин, В.Н. Замышляев. – Прокопьевск: КузНИУИ, 1992. - 286 с.
2. Рева В.Н. Поддержание горных выработок / В.Н. Рева, О.И. Мельников, В.В. Райский. – М.: Недра, 1995. - 270 с.
3. Ванякин О.В. Обоснование параметров технологических схем отработки сближенных пологих угольных пластов/: автореф. дис.насоиск.учён. степ. канд. техн. наук/ О.В. Ванякин; Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб.: 2016. – 20с.
4. Протодьяконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление. Часть I. / М.М. Протодьяконов. М.: ГИЗ, 1931. -104 с.
5. Постановление Правительства РФ от 3 марта 2010 г. № 118 «Об утверждении Положения о подготовке, согласовании и утверждении технических проектов разработки месторождений полезных ископаемых и иной проектной документации на выполнение работ, связанных с использованием участками недр, по видам полезных ископаемых и видам пользования недрами» (с изменениями и дополнениями) от 26 декабря 2014 г.
6. Эталон технико-экономического обоснования (ТЭО) строительства предприятий по добыче угля (шахт, разрезов): В 2 кн. – М.: Изд-во АГН, 1997.
7. Нацаренус П.А. Исследование, прогноз и борьба с пучением почвы подготовительных выработок / П.А. Нацаренус, И.И. Кайдо, А.Н. Златицкий // Уголь. 1985. №4. С. 59-60.
8. Зубков В.В. Особенности расчёта тектонически напряжённых зон при отработке свиты пластов / В.В. Зубков, И.А. Зубкова // Маркшейдерия и недропользование. 2013. №6(68). С. 22-24.
9. Красильников Б.В. Геомеханическое обоснование и разработка технологии добычи угля из весьма сближенных пластов в угольных

шахтах :автореф. дисс. на соиск. учён. степ. докт. техн. наук / Б.В. Красильников. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 1994. - 51 с.

10. Пальцев А.И. Управление горным давлением при интенсивной отработке свит угольных пластов на шахтах ОАО «СУЭК-КУЗБАСС» :автореф. дисс. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук / А.И. Пальцев. – СПб.: СПб. гос. горн. ин-т им. Г.В. Плеханова, 2011. - 19 с.

11. Управление горным давлением при разработке пологих пластов с труднообрушаемой кровлей на шахтах Кузбасса / С.И. Калинин, А.Ф. Лютенко, П.В. Егоров, С.Г. Дьяконов. – Кемерово: Кемеровское книжное издательство, 1991. - 247 с.

12. Якоби О. Практика управления горным давлением. Пер. с нем. / О. Якоби. – М.: Недра, 1987. - 566 с.

13. Козырева Е.Н. Влияние техногенной структуризации массива в окрестности очистного забоя на периодичность пучений почвы пласта при отработке сближенных лав / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич, Леонтьева Е.В. // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. -2016. -№ 1. С. 55-61.

14. Казанин О.И. Обоснование параметров подготовки выемочных участков при отработке свит пластов длинными забоями/ О.И. Казанин, А.А. Сидоренко, А.Ю. Ермаков, О.В. Ванякин //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. -№ 3. -С. 3-12.

15. Зубков В.В. Геомеханическое обоснование проекта отработки сближенных пластов «Пятый» - «Мощный» на шахте «Северная» ОАО «Воркутауголь»/ В.В. Зубков А.А. Вьюников, И.А. Зубкова// Маркшейдерский вестник. - 2012. -№ 3. - С. 41-44.

16. Аникин В.В. Оценка условий трехпластовой выемки сближенных пластов/ В.В. Аникин// Сб.: Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сборник научных трудов. – Пермь. - 2012. - С. 97-99.

17. Выбор последовательности разработки сближенных пластов в свитах на шахтах ОАО «Суэк-Кузбасс» / Г.И. Коршунов, А.И. Пальцев, Н.В. Кротов, Ф.П. Ивченко, Р.С. Истомин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2011. - № 5. - С. 24-28.

18. Рогачков А.А. К вопросу эффективности анкерного крепления подготовительных выработок в зонах повышенного горного давления при разработке сближенных пластов / А.А. Рогачков, В.В. Климов, А.В. Ремезов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2011. - № 5. - С. 47-50.

19. Инструкция по прогнозу геодинамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений (РД 05-328-99) // Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах (Сборник документов) / Кол. авт. М.: НТЦ «Промышленная безопасность». 2000. - С. 4-119.

20. Волошин В.А. Геомеханический прогноз устойчивости подготовительных выработок в зонах геологических нарушений и повышенного горного давления : автореф. дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук / А.В. Волошин; СибГИУ. Новокузнецк: 2002. - 24 с.

21. Волошин В.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.

22. Захаров В.Н. Углепородные массивы: прогноз устойчивости, риски, безопасность. / В.Н. Захаров, В.С. Забурдяев, В.Б. Артемьев // М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр». 2013. - 280 с. (Библиотека горного инженера. Т. 3 «Подземные горные работы». Кн. 9).

23. 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.

24. Слесарев В.Д. Разработка сближенных пластов / В.Д. Слесарев. // М.: Углетехиздат, 1948. - 184 с.

25. Слесарев В.Д. Определение оптимальных размеров целиков различного назначения / В.Д. Слесарев. // М.: Углетехиздат, 1948. – 195 с.

26. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок / ВНИМИ, СПб.: 1991. - 125 с.

27. Методические указания по созданию систем контроля состояния горного массива и прогноза горных ударов как элементов многофункциональной системы безопасности угольных шахт. / Д.В. Яковлев [и др.] // СПб.: ВНИМИ, 2012. - 83 с.

28. Методы и средства решения задач горной геомеханики / Г.Н. Кузнецов, К.А. Ардашев, Н.А. Филатов и др. - М.: Недра, 1987. - 248 с.

29. Правила безопасности в угольных шахтах. Приказ Ростехнадзора от 19.11.2013 № 550 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности в угольных шахтах" (Зарегистрировано в Минюсте России 31.12.2013 N 30961). – М.: - 100с. - Режим доступа: http://inoteh-prk.ru/docs/pravo/pb_um.pdf.

30. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях [Текст]. - С-Пб.: ВНИМИ, 1998. – 291 с.

31. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах". Приказ Ростехнадзора от 17 декабря 2013 года № 610 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах» (Зарегистрировано в Минюсте России 19.02.2014 года, регистрационный № 31354).

32. Ерофеев Л.М. Повышение надёжности крепи горных выработок / Л.М. Ерофеев, Л.А. Мирошникова. - М.: Недра, 1988. - 245 с.
33. Расчёт и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях пласта (Методические указания) / Л.: ВНИМИ, 1973. – 130 с.
34. Петухов И.М. Механика горных ударов и выбросов / И.М. Петухов, А.М. Линьков. – М.: Недра, 1983. – 280 с.
35. Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов / И.М. Петухов, А.А. Линьков, В.С. Сидоров и др. – М.: Недра, 1992. – 256 с.
36. Расчёт крепи и охранных целиков подготовительных выработок/ П.В. Егоров, А.Е. Клыков, О.С. Курзанцев, А.И. Петров. М.: Недра, 1995. – 125 с.
37. Бублик Ф.П. Методическое пособие по определению основных параметров систем разработки с гидромеханизацией в условиях пологих пластов. Л.: ВНИМИ, 1967. – 75 с.
38. Методическое руководство по выбору геомеханических параметров технологии разработки угольных пластов короткими забоями [Текст] / Кол. авторов. – СПб.: ВНИМИ, 2003. – 30 с.
39. Гречишкин П.В. Оценка эффективности двухуровневого анкерного крепления сопряжений горных выработок угольных шахт [Текст] / П.В. Гречишкин, А.С. Позолотин, Д.Ф. Зяятдинов, В.Н. Шаров // Горный журнал . 2015. № 8. С. 48-52.
40. Златицкая Ю.А. Геомеханическое обоснование параметров опасных зон и технологии упрочнения пород в окрестности подземных горных выработок [Текст] / Ю.А. Златицкая, В.Н. Фрянов. Новокузнецк: СибГИУ, 2006. – 160 с.
41. Казанин О.И. О научном сопровождении проектирования технологических схем интенсивной отработки угольных пластов [Текст] / О.И. Казанин, А.А. Ромашкевич // СПб.: Записки Горного института. - 2012. - Т. 198. – С.104-107.

42. Лазаревич Т.И. К проблеме сейсмобезопасности Кузбасса в условиях активного освоения его недр / Т.И. Лазаревич, А.Н. Поляков. // ТЭК и ресурсы Кузбасса. 2010. № 2. С. 28-30.

43. Рогачков А.В., 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, П.И. Муравский, П.В. Гречишкин // Уголь. 2012. № 12. С. 38-40.

44. Сравнительная оценка соответствия расчётных и измеренных в натуральных условиях смещений пород кровли подземных выработок / В.В. Басов, А.А. Петров, П.В. Васильев, В.Н. Фрянов // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т. Новокузнецк: 2016. С. 136-140.

45. Хачай О.А. Хачай О.Ю. Геосинергетика: теория, методы, эксперименты при решении проблем отработки горных массивов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Новосибирск: ИГДСОРАН. 2015. С. 45-51.

46. Вылегжанин В.Н. Структурные модели горного массива в механизме геомеханических процессов [Текст]/ В.Н. Вылегжанин, П.В. Егоров, В.И. Мурашев. - Новосибирск: Наука, 1990. – 295 с.

47. Физико-технические свойства горных пород и углей/ Г.Г. Штумпф, Ю.А. Рыжков, В.А. Шаламанов, А.И. Петров. – М.: Недра, 1994. -447 с.

48. Динамические формы проявления горного давления / В.Б. Артемьев, Г.И. Коршунов, А.К. Логинов, В.М. Шик. -СПб.: Наука, 2009. 347 с.

49. Опыт направленного гидроразрыва основной кровли при выводе механизированного комплекса из монтажной камеры / В.И. Клишин, Г.Ю. Опрук, А.В. Сентюрёв, А.В. Николаев // Уголь. 2015. №11. С. 12-16.

50. Методика выбора рациональных параметров технологических схем очистной выемки пологих угольных пластов гидрошахт Кузбасса / А.П.

Колесников, А.Н. Златицкий, В.Н. Фрянов, В.В. Соин. – Новокузнецк: ВНИИГидроуголь, 1988. – 139с.

51. Фисенко Г.Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок / Г.Л. Фисенко. // М.: Недра, 1976. 272 с.

52. Климов В.В. Поддержание выработок с использованием двухуровневой схемы крепления при их переходе очистным забоем / В.В. Климов, В.С. Горностаев, А.С. Позолотин, М.В. Лысенко, Д.Ф. Зяятдинов, Г.Н. Роут // Уголь. 2014. №12. С.28-33.

53. Пат. 2472934 РФ, МКИ E21D11/00. Способ перехода очистным забоем выработки, пройденной с подрывкой кровли пласта / Г.В. Овчаренко; Санкт-Петербургский государственный горный университет; заявл. 07.29.2011; опубл. 20.01.2013.

54. Геомеханическое состояние приконтурного массива демонтажной камеры /В.Е. Ануфриев [и др.]. Кемерово: Ин-т угля и углехимии СО РАН, 2006. 63 с.

55. 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.

56. 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. 269-280.

57. 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.

58. 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.

59. 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.

60. 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 им. Т. Ф. Горбачева»; редкол.: А.А. Хорешок (отв. редактор), В.А. Колмаков, С.Г. Костюк (зам. отв. редактора) [и др.]. Кемерово, 2016.

61. Методика обоснования параметров выемочного участка при отработке сближенных угольных пластов: метод. указ. / Сиб. гос. индустр. ун-т; сост.: А.А. Исаченко, С.В. Риб, В.Н. Фрянов. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. 25 с.

62. Временные указания по управлению горным давлением в очистных забоях на пластах мощностью до 3,5 м с углом падения до 35° / Л.: ВНИМИ, 1982. 34 с.

63. Геологическое обеспечение работ по добыче угля: Сборник нормативных документов / Под ред. А.Д. Рубана и др. М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. 432 с.

64. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров. МИ 1317-2004. М.: ФГУП ВНИИМС, 2004.

65. Григорьев В.Е. Оценка дизъюнктивной нарушенности выемочных полей для обоснования целесообразности их отработки / В.Е. Григорьев //

Труды Всесоюзного ордена Трудового Красного Знамени НИИ Горной геомеханики и маркшейдерского дела Л.: ЛГИ. 1982. С.3-6.

66. Кратч Г. Сдвигение горных пород и защита подрабатываемых сооружений Пер. с нем. / Г.Кратч. // М.: Недра, 1982. 494 с.

67. Методические рекомендации по геолого-экономической оценке (ГЭО) углепроявлений (по результатам поисковых работ) / Ростов-на-Дону: ВНИГРИУГОЛЬ, 2001. 34 с.

68. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД 03-418-01) [Электронный ресурс]. / М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2001. Режим доступа [http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=201].

69. Опыт применения канатных анкеров в качестве крепи усиления камер и выработок, поддерживаемых на границе с выработанным пространством и методика расчёта их параметров / В. Е. Ануфриев и [др.]. // Кемерово: ИУУ СО РАН, 2008. 220 с.

70. Свойства горных пород и методы их определения / Е.И. Ильницкая, Р.И. Тедер, Е.С. Ватолин, М.Ф. Кунтыш // Москва: Недра, 1969. 392 с.

71. Смирнов О.В. Прогноз геологических нарушений по параметрам акустического сигнала / О.В. Смирнов, А.И. Кулик, Е.А. Лапин // Уголь. 2015. № 11. С. 76-79.

72. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования формирования и распределения опасных зон в газоносном геомассиве: свидетельство о регистрации электронного ресурса. № 21123, дата регистрации 03 августа 2015 года. / В.Н. Фрянов, О.А. Петрова, Т.В. Петрова // ХРОНИКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ФОНДА ЭЛЕКТРОННЫХ РЕСУРСОВ «НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ» № 08-09 (75-76) август-сентябрь 2015.

73. Бате Н. Численные методы анализа и численный метод конечных элементов / Н. Бате, Е. Вилсон. М.: Стройиздат, 1982. 448 с.

74. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. // М.: Недра, 1987. 221с.
75. Вылегжанин В.Н. Адаптивное управление подземной технологией добычи угля / В.Н. Вылегжанин, Э.И. Витковский, В.П. Потапов. Новосибирск: Наука, 1987. 232 с.
76. Коровкин Ю.А. Теория и практика длиннолавных систем / Ю.А. Коровкин, П.Ф. Савченко. // М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2012. 808 с.
77. Пособие по многофакторному прогнозированию устойчивости углевмещающих пород в очистных выработках шахт Кузбасса / Ростов-на-Дону, ВНИГРИуголь, 1982. 45 с.
78. Стеколыщиков Г.Г. Управление аэрогазодинамическими процессами в многосвязной комбинированной вентиляционной системе угольных шахт: Автореф. дис. ...д-ра техн.наук/Институт угля и углехимии СО РАН. / Кемерово, 2000. 46 с.
79. Колмаков В.А. Метановыделение и борьба с ним в шахтах/ В.А. Колмаков. / М.: Недра, 1981. 134 с.
80. Ержанов Ж.С. Устойчивость пластовых горных выработок / Ж.С. Ержанов, Ш.М. Айталиев, М.К. Туебаев. // Алма-Ата: Наука, 1977. 117 с.
81. Ползучесть осадочных горных пород. Теория и эксперимент / Ж.С. Ержанов, А.С. Сагинов, Г.Н. Гуменюк, Ю.А. Векслер, Г.А. Нестеров. // Алма-Ата: Наука, 1970. 208 с.
82. Зорков Д.В. Обоснование технологических параметров безопасного въезда очистного механизированного комплекса в предварительно подготовленную демонтажную выработку на угольных шахтах: Автореф. дис. ...кандтехн.наук / Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва. Кемерово, 2016. 22 с.
83. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов / А. А. Борисов. // М.: Недра, 1980. 306 с.

84. Кузнецов Г.Н. Моделирование проявлений горного давления / Г.Н. Кузнецов. // Л.: Недра, 1968. 218 с.

85. Охрана подготовительных выработок целиками на угольных шахтах: учеб. пособие для корпоративной системы повышения квалификации инженерно-технических работников / В.Б. Артемьев, Г.И. Коршунов, А.К. Логинов, В.М. Шик, Е.П. Ютяев / под ред. проф., д-ра тех. наук Ю.В. Шувалова. // М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. 204 с., табл., ил. (Серия «Библиотека горного инженера». Т. 3 «Подземные горные работы», Кн. 5).

86. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР [Текст]. / Л.: ВНИМИ. 1986. 222 с.

87. Курленя М.В. Техногенные геомеханические поля напряжений / М.В. Курленя, В.М. Серяков, А.А. Ерёмченко. // Новосибирск: Наука, 2005. 264 с.

88. Оден Д. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред / Д.Оден. / М.: Мир, 1976. 464 с.

89. Никитина А.М. Геомеханическое обеспечение устойчивости горных выработок в неоднородном углепородном массиве / А.М. Никитина, В.Н. Фрянов. / Новокузнецк: СибГИУ, 2009. 199 с.

90. Буреева Н.Н. Многомерный статистический анализ с использованием ППП «STATISTICA» [Текст] / Н.Н. Буреева. Нижний Новгород: ННГУ, 2007. - 112 с.

91. Программа расчёта геомеханических параметров для исследования взаимодействия секции механизированной крепи с углепородным массивом /А.В. Степанов, В.Н. Фрянов, Ю.А. Степанов // Свидетельство об официальной регистрации программы на ЭВМ № 2001610645; Заявка № 2001610402 от 02.04.2001. Зарегистр. 31.05.2001. М.: Роспатент, 2001.

92. Амбарцумян С.А. Разномодульная теория упругости / С.А. Амбарцумян. // М.: Наука, 1982. 320 с.

93. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов. // М.: Высшая школа, 1968. 512 с.

94. Комментарии к Инструкции по расчёту и применению анкерной крепи на угольных шахтах. Ч.1 / Ф.А. Анисимов, П.В. Гречишкин, А.В. Рогачков, Е.А. Разумов, А.С. Позолотин, Г.В. Райко. // Кемерово: Изд-во «Практика». 2014. 254 с.

95. Bin Yu, Zhenyu Zhang, Tiejun Kuang, Jinrong Liu. Stress Changes and Deformation Monitoring of Longwall Coal Pillars Located in Weak Ground. Rock Mechanics and Rock Engineering. August 2016, Volume 49, Issue 8, pp. 3293-3305.

96. Jin-He Jia, Hong-Pu Kang, Xin-Rong Zhang. Evaluation of coal pillar loads during longwall extraction using the numerical method and its application. Journal of Coal Science and Engineering (China). June 2013, Volume 19, Issue 3, pp. 269-275.

97. Yaramy K.Y./ Kneisley R.O. Yield pillars for stress control in longwall mines-case study // Intern. J. of Mining and Geological Engineering. 1990. Vol. 8. P.287-304.

98. Yolland C.T. The strength of coal in mine pillars // Proc. of the 6th Symp. on Rock Mech. Rolla, MO: University of Missouri, 1964. P. 450-456.

99. Mark C., Iannacchione A.T. Coal pillar mechanics: theoretical models and field measurements compared // Proc. of the Workshop on Coal Pillar Mechanics and Design. Bureau of Mines Inform. Circular. 1992. Rep. of Investigations 9315, P. 78-93.

100. Mark C. Analysis of longwall pillar stability (ALHS): an update // Proc. of the Workshop on Coal Pillar Mechanics and Design. 1992. Inform. Circular 9315. P. 238-249.

101 Peng S.S. Coal Mine Ground Control / West Virginia University, 2008. 750 p.

102. Peng S.S. Longwall Mining / West Virginia University, 2006. 621 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ЖУРНАЛ

замеров конвергенции боков выработки, пучения почвы и состояния кровли на вентиляционном штреке 2-5

№№ замерных станций	Место установки замерной станции (ПК)	Дата/положение лавы 2-4					Нарастающий итог , см
		02.12.15 / ПК 53 - 2,6					
		Описание состояния выработки	Ширина выработки b с учетом конвергенции боков, см	Отклонение,	Высота выработки h с учетом пучения почвы, см	Отклонение, см	
1	ПК15	пучение обоих боков	27		259		0
2	ПК16	пучение обоих боков	446		321		0
3	ПК17	пучение обоих боков	13		301		0
4	ПК18	пучение обоих боков	440		258		0
5	ПК30	разрушение лавного бока	430		250		0
6	ПК33	пучение нижнего бока	464		310		0
7	ПК34	пучение нижнего бока	472		309		0
8	ПК35	пучение нижнего бока	438		326		0
9	ПК36	пучение нижнего бока	440		308		0
10	ПК37	пучение нижнего бока	503		327		0
11	ПК42	пучение лавного бока	470		332		0
12	ПК43	пучение лавного бока	23		287		0
13	ПК44	пучение лавного бока	464		312		0
14	ПК51	разрушение лавного бока	10		310		0

ЖУРНАЛ

замеров конвергенции боков выработки, пучения почвы и состояния кровли на вентиляционном штреке 2-

5

№№ замерны х станций	Место установк и замерной станции (ПК)	Дата/положение лавы 2-4					
		18.12.15 / ПК 64 - 8,6					
		Описание состояния выработки	Ширина выработки b с учетом конвергенции боков, см	Отклонение,	Высота выработки h с учетом пучения почвы, см	Отклонение, см	Нарастающий итог , см
1	ПК15	пучение обоих боков	20	7	257	2	2
2	ПК16	пучение обоих боков	439	7	315	6	6
3	ПК17	пучение обоих боков	449	4	290	2	2
4	ПК18	пучение обоих боков	432	8	252	6	6
5	ПК30	разрушение лавного бока	424	6	22	2	2
6	ПК33	пучение нижнего бока	460	4	307	3	3
7	ПК34	пучение нижнего бока	465	7	306	3	3
8	ПК35	пучение нижнего бока	427	11	317	9	9
9	ПК36	пучение нижнего бока	430	10	300	8	8
10	ПК37	пучение нижнего бока	497	6	324	3	3
11	ПК42	пучение лавного бока	465	5	330	2	2
12	ПК43	пучение лавного бока	477	6	283	4	4
13	ПК44	пучение лавного бока	19	5	310	2	2
14	ПК51	разрушение лавного бока	443	7	309	1	1

ЖУРНАЛ

замеров конвергенции боков выработки, пучения почвы и состояния кровли на вентиляционном штреке 2-

5

№№ замерны х станций	Место установк и замерной станции (ПК)	Дата/положение лавы 2-4					
		29.12.15 / ПК 69 - 8,6					
		Описание состояния выработки	Ширина выработки b с учетом конвергенции боков, см	Отклонение,	Высота выработки h с учетом пучения почвы, см	Отклонение, см	Нарастающий итог , см
1	ПК15	пучение обоих боков	460	20	250	7	9
2	ПК16	пучение обоих боков	431	8	305	10	16
3	ПК17	пучение обоих боков	444	5	290		2
4	ПК18	пучение обоих боков	432		21	7	13
5	ПК30	разрушение лавного бока	406	18	241	7	9
6	ПК33	пучение нижнего бока	442	18	307	3	6
7	ПК34	пучение нижнего бока	443	22	303	3	6
8	ПК35	пучение нижнего бока	424	3	313	4	13
9	ПК36	пучение нижнего бока	426	4	297	3	11
10	ПК37	пучение нижнего бока	21	16	324		3
11	ПК42	пучение лавного бока	465		330		2
12	ПК43	пучение лавного бока	474	3	271	12	16
13	ПК44	пучение лавного бока	13	6	296	14	16
14	ПК51	разрушение лавного бока	438	5	304	5	6

ЖУРНАЛ

замеров конвергенции боков выработки, пучения почвы и состояния кровли на вентиляционном штреке 2-

5

№№ замерны х станций	Место установк и замерной станции (ПК)	Дата/положение лавы 2-4					
		19.01.16 / ПК 85 - 7,6				850	
		Описание состояния выработки	Ширина выработки b с учетом конвергенции боков, см	Отклонение, см	Высота выработки h с учетом пучения почвы, см	Отклонение, см	Нарастающий итог , см
1	ПК15	пучение обоих боков	420	40	240	10	19
2	ПК16	пучение обоих боков	426	5	300	5	21
3	ПК17	пучение обоих боков	444	0	280	10	12
4	ПК18	пучение обоих боков	420	12	243	2	15
5	ПК30	разрушение лавного бока	393	13	234	7	16
6	ПК33	пучение нижнего бока	428	14	304	3	9
7	ПК34	пучение нижнего бока	433	10	300	3	9
8	ПК35	пучение нижнего бока	420	4	310	3	16
9	ПК36	пучение нижнего бока	421	5	290	7	18
10	ПК37	пучение нижнего бока	470	11	306	18	21
11	ПК42	пучение лавного бока	449	16	318	12	14
12	ПК43	пучение лавного бока	474	3	262	9	25
13	ПК44	пучение лавного бока	42	5	296		16
14	ПК51	разрушение лавного бока	438		304		6

ЖУРНАЛ

замеров конвергенции боков выработки, пучения почвы и состояния кровли на вентиляционном
штреке 2-5

№№ замерных станций	Место установки замерной станции (ПК)	Дата/положение лавы 2-4					
		23.01.16 / ПК 88 - 4,8					880
		Описание состояния выработки	Ширина выработки b с учетом конвергенции боков, см	Отклонение, см	Высота выработки h с учетом пучения почвы, см	Отклонение, см	Нарастающий
1	ПК15	пучение обоих боков	406	14	240		19
2	ПК16	пучение обоих боков	422	4	300		21
3	ПК17	пучение обоих боков	438	6	277	3	15
4	ПК18	пучение обоих боков	418	2	243		15
5	ПК30	разрушение лавного бока	393		231	3	19
6	ПК33	пучение нижнего бока	426	2	295	9	18
7	ПК34	пучение нижнего бока	433		300		9
8	ПК35	пучение нижнего бока	420		310		16
9	ПК36	пучение нижнего бока	407	14	286	4	22
10	ПК37	пучение нижнего бока	15	15	303	3	24
11	ПК42	пучение лавного бока	423	26	300	18	32
12	ПК43	пучение лавного бока	467	7	257	5	30
13	ПК44	пучение лавного бока	442	6	293	3	19
14	ПК51	разрушение лавного бока	433	5	301	3	9

ЖУРНАЛ

замеров конвергенции боков выработки, пучения почвы и состояния кровли на вентиляционном штреке 2-5

№№ замерных станций	Место установки замерной станции (ПК)	Дата/положение лавы 2-4					
		15.02.16 / ПК 103 - 9,4					1030
		Описание состояния выработки	Ширина выработки b с учетом конвергенции боков, см	Отклонение, см	Высота выработки h с учетом пучения почвы, см	Отклонение, см	Нарастающий
1	ПК15	пучение обоих боков	393	13	236	4	23
2	ПК16	пучение обоих боков	404	18	281	19	40
3	ПК17	пучение обоих боков	421	17	264	13	28
4	ПК18	пучение обоих боков	390	28	225	18	33
5	ПК30	разрушение лавного бока	384	9	222	9	28
6	ПК33	пучение нижнего бока	419	7	286	9	27
7	ПК34	пучение нижнего бока	424	9	287	13	22
8	ПК35	пучение нижнего бока	412	8	298	12	28
9	ПК36	пучение нижнего бока	397	10	279	7	29
10	ПК37	пучение нижнего бока	11	4	299	4	28
11	ПК42	пучение лавного бока	418	5	292	8	40
12	ПК43	пучение лавного бока	464	3	253	4	34
13	ПК44	пучение лавного бока	438	4	288	5	24
14	ПК51	разрушение лавного бока	429	4	294	7	16

ЖУРНАЛ

замеров конвергенции боков выработки, пучения почвы и состояния кровли на вентиляционном штреке 2-5

№№ замерных станций	Место установки замерной станции (МТ)	Дата					
		10.03.16 - 15.03.16					
		Описание состояния выработки	Ширина выработки b с учетом конвергенции боков, см	Отклонение, см	Высота выработки h с учетом пучения почвы, см	Отклонение, см	Нарастающий
1	ПК14+3 м	пучение обоих боков	393-389	4	236-232	4	27
2	ПК16-1 м	пучение обоих боков	404-402	2	281-278	3	43
3	ПК17-1 м	пучение обоих боков	421-416	5	264-261	3	31
4	ПК21	пучение почвы	390-390	0	225-216	9	42
5	ПК28+4 м	пучение почвы	384-382	2	222-212	10	38
6	ПК34-3 м	пучение почвы	419-412	7	286-275	11	38
7	ПК35	пучение почвы	424-415	9	287-278	9	31
8	ПК36+6 м	пучение почвы	412-404	8	298-287	12	40
9	ПК38	пучение почвы	397-390	7	279-271	8	37
10	ПК39+1 м	пучение почвы	11-447	4	299-295	4	32
11	ПК42	пучение почвы	418-413	5	292-284	8	2
12	ПК44	пучение почвы	406-401	5	264-258	6	40
13	ПК2	зона горно-геологического нарушения	438-435	3	198-195	3	27
14	ПК51	пучение лавного бока	407-403	4	288-283	5	21
15	ПК61+3,6 м	пучение почвы	422-410	12	263-250	13	13
16	ПК65	пучение почвы	418-412	6	251-240	11	11
17	ПК71	пучение почвы	406-403	3	249-239	10	10
18	ПК74	пучение почвы	398-391	7	232-220	12	12
19	ПК84	пучение почвы	396-387	9	183-170	13	13
20	ПК89	пучение почвы	401-392	9	182-171	11	11
21	ПК92	пучение почвы	396-385	11	176-160	16	16
22	ПК100	пучение почвы	393-381	12	178-164	14	18
23	ПК103	пучение почвы	402-391	11	187-176	11	11

ЖУРНАЛ

замеров конвергенции боков выработки, пучения почвы и состояния кровли на
вентиляционном штреке 2-5

№№ замерных станций	Место установки замерной станции (MT)	Дата					
		15.03.16/125 - 3,6					
		Описание состояния выработки	Ширина выработки b с учетом конвергенции боков, см	Отклонение, см	Высота выработки h с учетом пучения почвы, см	Отклонение, см	Нарастающий итог , см
1	ПК15	пучение обоих боков	389	4	232	4	31
2	ПК16	пучение обоих боков	402	2	278	3	46
3	ПК17	пучение обоих боков	416	5	261	3	34
4	ПК18	пучение почвы	390	0	216	9	51
5	ПК30	пучение почвы	382	2	212	10	2
6	ПК33	пучение почвы	412	7	275	11	49
7	ПК34	пучение почвы	415	9	278	9	40
8	ПК35	пучение почвы	404	8	287	12	52
9	ПК36	пучение почвы	390	7	271	8	1
10	ПК37	пучение почвы	447	4	295	4	36
11	ПК42	пучение почвы	413	5	284	8	56
12	ПК44	пучение почвы	401	37	258	30	70
13	ПК2	зона горно-геологического нарушения	435	3	195	3	30
14	ПК51	пучение лавного бока	403	26	283	9	30
15	ПК61	пучение почвы	410		250		13
16	ПК65	пучение почвы	412		240		11
17	ПК71	пучение почвы	403		239		10
18	ПК74	пучение почвы	391		220		12
19	ПК84	пучение почвы	387		170		13
20	ПК89	пучение почвы	392		171		11
21	ПК92	пучение почвы	385		160		16
22	ПК100	пучение почвы	381		164		14
23	ПК103	пучение почвы	391		176		11

ЖУРНАЛ

замеров конвергенции боков выработки, пучения почвы и состояния кровли на вентиляционном
штреке 2-5

№№ замерных станций	Место установки замерной станции (ПК, МТ)	Дата					
		30.03.16/140 - 6,5					
		Описание состояния выработки	Ширина выработки b с учетом конвергенции боков, см	Отклонение, см	Высота выработки h с учетом пучения почвы, см	Отклонение, см	Нарастающий итог , см
1	ПК15	пучение обоих боков	385	4	228	4	35
2	ПК16	пучение обоих боков	396	6	273	5	51
3	ПК17	пучение обоих боков	411	5	258	3	37
4	ПК21	Зачистка	420	30	280	64	115
5	ПК28	пучение почвы	382		212		2
6	ПК34	пучение почвы	412	3	275	3	52
7	ПК35	пучение почвы	402	3	283	4	44
8	ПК36	пучение почвы	387	3	268	3	55
9	ПК38	пучение почвы	391		240		1
10	ПК39	пучение почвы	447		252	4	40
11	ПК42	пучение почвы	410	3	280	4	60
12	ПК44	пучение почвы	398	3	22	10	80
13	ПК2	зона горно-геологического нарушения	435		195	3	33
14	ПК51	пучение лавного бока	398	5	278	5	35
15	ПК61	пучение почвы	396	14	213	37	50
16	ПК65	пучение почвы	396	16	221	19	30
17	ПК71	пучение почвы	391	12	222	17	27
18	ПК74	пучение почвы	390	1	184	36	2
19	ПК84	пучение почвы	371	16	162	8	21
20	ПК89	пучение почвы	390	2	163	8	19
21	ПК92	пучение почвы	383	2	143	17	33
22	ПК100	пучение почвы	381		160	4	18
23	ПК103	пучение почвы	390	1	176	11	22

ЖУРНАЛ

замеров конвергенции боков выработки, пучения почвы и состояния кровли на вентиляционном штреке 2-5

№№ замерных станций	Место установки замерной станции (ПК, МТ)	Дата					
		14.04.16/156 - 8,6					
		Описание состояния выработки	Ширина выработки b с учетом конвергенции боков, см	Отклонение, см	Высота выработки h с учетом пучения почвы, см	Отклонение, см	Нарастающий итог , см
1	ПК15	пучение обоих боков	385		228		35
2	ПК16	пучение обоих боков	396		273		51
3	ПК17	пучение обоих боков	411		258		37
4	ПК21	Зачистка	420		280		115
5	ПК28	пучение почвы	382		212		2
6	ПК34	пучение почвы	412		275		52
7	ПК35	пучение почвы	402		283		44
8	ПК36	пучение почвы	387	3	268	3	58
9	ПК38	пучение почвы	391		240		1
10	ПК39	пучение почвы	447		250	2	42
11	ПК42	пучение почвы	410		240	40	100
12	ПК44	пучение почвы	396	3	240	8	88
13	ПК2	зона горно-геологического нарушения	435		195	3	36
14	ПК51	пучение лавного бока	393	5	220	58	93
15	ПК61	пучение почвы	396		200	13	63
16	ПК65	пучение почвы	396		200	21	51
17	ПК71	пучение почвы	391		220	2	29
18	ПК74	пучение почвы	390		180	4	52
19	ПК84	пучение почвы	370	1	160	2	23
20	ПК89	пучение почвы	390		163	8	27
21	ПК92	пучение почвы	381	2	143		33
22	ПК100	пучение почвы	381		160		18
23	ПК103	пучение почвы	389	1	176		22

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Результаты регрессионного анализа

1_Множеств_регрессия_170929.xlsx - Excel

ФАЙЛ ГЛАВНАЯ ВСТАВКА РАЗМЕТКА СТРАНИЦЫ ФОРМУЛЫ ДАННЫЕ РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ ВИД ABBYY FineReader 12 Татьяна Петрова

Вставить Буфер обмена Шрифт Выравнивание Число Стили

Общий Условное форматирование Форматировать как таблицу Стили

Вставить Удалить Формат Ячейки

Сортировка и фильтр Найти и выделить Редактирование

К33

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ВЫВОД ИТОГОВ										
2											
3	Регрессионная статистика										
4	Множественный R	0,899320157									
5	R-квадрат	0,808776745									
6	Нормированный R-квадр	0,798440353									
7	Стандартная ошибка	7,007641284									
8	Наблюдения	40									
9											
10	Дисперсионный анализ										
11		df	SS	MS	F	Значимость F					
12	Регрессия	2	7684,814655	3842,407327	78,24555526	5,11097E-14					
13	Остаток	37	1816,960345	49,10703636							
14	Итого	39	9501,775								
15											
16		Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%		
17	Y-пересечение	-12,45982515	7,339575687	-1,697621999	0,097976274	-27,33121809	2,411567788	-27,33121809	2,411567788		
18	Междупластье, m	0,928169092	3,47679088	0,266961438	0,790981207	-6,116478384	7,972816568	-6,116478384	7,972816568		
19	Расстояние от лавы до за	0,031962146	0,002555899	12,50524772	7,43857E-15	0,026783403	0,037140889	0,026783403	0,037140889		
20											
21											
22											
23											
24											
25											

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Расчет экономического эффекта

1. Расчет экономического эффекта от оптимизации пространственного расположения вскрывающих выработок

Исходные данные	
Длина вскрывающей выработки, м	2 000
Количество вскрывающих выработок, участки которых находятся в зоне влияния, шт.	2
Длина участка одной выработки, находящегося в зоне влияния, м	1 000
Затраты на проведение 1 п.м выработки на анкерную крепь (в не зоны влияния горно-геологических условиях), руб./м	30 130
Затраты на проведение 1 п.м выработки на анкерную крепь с усилением канатными анкерами АК-01, руб./м	33 800
Затраты на проведение 1 п.м выработки на арочную крепь А19-27, руб./м	41 300
Затраты на проведение 1 п.м. выработки с проявлением негативного влияния горно-геологических условий и последующей перекрепкой, руб./м	48 240
Разница между проведение выработки на АСП и последующим ремонтом КМПТ, руб./м	18 110
Расчет	
Затраты на проведение 1 км выработки на анкерную крепь, руб.	30 130 000
Затраты на проведение 1 км выработки на анкерную крепь с усилением канатными анкерами АК-01, руб.	33 800 000
Затраты на проведение 1 км выработки на арочную крепь А19-27, руб.	41 300 000
Затраты на проведение на анкерную крепь 1 км выработки с последующей перекрепкой, руб.	48 240 000
Экономический эффект от оптимизации пространственного расположения вскрывающих выработок и типа крепления относительно проведения на анкерную крепь и последующего восстановления, млн руб.	36,220
Экономический эффект от оптимизации пространственного расположения вскрывающих выработок и типа крепления относительно проведения выработки на анкерную крепь, млн. руб.	22,340

2. Расчет экономического эффекта от проведения квершлагов с различной крепью на разных участках

<i>Исходные данные</i>	
Длина выработки, м	50
Количество выработок, шт.	2
Длина участков выработок, м	17
Затраты на проведение 1 п.м выработки на анкерную крепь, руб./м	16 160
Затраты на проведение 1 п.м выработки на анкерную крепь с усилением канатными анкерами АК-01, руб./м	18 100
Затраты на проведение 1 п.м выработки на арочную крепь А19-27, руб./м	38 120
<i>Расчет</i>	
Затраты на проведение первого участка выработки на анкерную крепь, млн руб.	0,269
Затраты на проведение второго и третьего участков участка выработки на анкерную крепь с усилением канатными анкерами АК-01, млн руб.	0,603
Затраты на проведение всей выработки на анкерную крепь, млн руб.	0,873
Затраты на проведение всей выработки на арочную крепь, млн руб.	1,906
Экономический эффект от проведения одной выработки с различной крепью на разных участках, млн руб.	1,033
Экономический эффект от проведения выработок с различной крепью на разных участках, млн. руб.	2,067

3. Расчет экономического эффекта от проведения поддира почвы

Исходные данные	
Объем добычи, т/мес.	200 000
Скорость проведения горной выработки, м/мес.	250
Затраты на проведение выработки, руб./1 п.м	35 000
Длина выработки, м	3 000
Длина участка выработки, на котором необходим поддир, м	1 000
Продолжительность проведения поддира, мес.	7
Затраты на поддир почвы и усиление крепления, руб./п.м	10 800
Цена угля, руб./т (средняя цена по рынку коксующихся углей на первое полугодие 2016 года)	5 200
Себестоимость добычи угля, руб./т	2 458
Расчет	
Затраты на проведение параллельной выработки в случае неосуществления поддира, руб.	105 000 000
Продолжительность проведения параллельной выработки, мес.	12
Уменьшение годового объема добычи при проведении параллельной выработки, (с учетом МДР лавы - 3 мес), т	1 800 000
Уменьшение годовой прибыли при проведении параллельной выработки, млн руб.	4 936
Затраты на проведение поддира, руб.	10 800 000
Уменьшение годового объема добычи при проведении поддира, т	1 400 000
Уменьшение годовой прибыли при проведении поддира, млн руб.	3 838,800
Экономический эффект от проведения поддира почвы, млн. руб.	1 096,800

4. Расчет общего экономического эффекта

<i>Показатели</i>	Значения
Экономический эффект от проведения поддира почвы, млн руб.	1 096,800
Экономический эффект от оптимизации пространственного расположения вскрывающих выработок и типа крепления относительно проведения на анкерную крепь и последующего восстановления, млн руб.	36,220
Экономический эффект от проведения одной выработки с различной крепью на разных участках, млн руб.	2,067
Итого, млн руб.	1 135,087

252-3/796 № 17.07.17

На № _____ от _____

**Справка о внедрении результатов исследований, полученных
в кандидатской диссертации Исаченко А.А.,
посвящённой обоснованию решений по управлению
горным давлением на весьма сближенных угольных пластах**

Настоящая справка подтверждает, что при ведении горных работ на филиале "Шахта "Ерунаковская-VIII" ОАО «ОУК Южкузбассуголь» реализованы следующие решения по управлению горным давлением с использованием результатов исследований, полученных Исаченко А.А.:

1. По результатам шахтных измерений конвергенции кровли и почвы при общей длине штреков более 2000 м разработана и внедрена технологическая схема зачистки и поддира почвы вентиляционного штрека 48-5.
2. Реализованы обоснованные геомеханические решения по сохранению в устойчивом состоянии краевых частей угольных целиков в окрестностях горных выработок, располагающихся в зоне влияния опорного давления, параметры которого установлены с учётом активизации процесса сдвижения подработанных и наработанных пород на соседних выемочных участках при отработке весьма сближенных пластов
3. Рассмотрена и принята к реализации технологическая схема заводки механизированного комплекса в пересекаемую выработку.

Заместитель директора филиала
"Шахта "Ерунаковская-VIII"

Бордунов А.А.

