

На правах рукописи



ЧЕРЕПОВ АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ КОРОТКИМИ ЗАБОЯМИ
СКЛОННЫХ ГОРНЫМ УДАРАММОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

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

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Кемерово 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

Научный руководитель: Павлова Лариса Дмитриевна, доктор технических наук, доцент, директор Института информационных технологий и автоматизированных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

Официальные оппоненты: Шабаров Аркадий Николаевич, доктор технических наук, директор Научного центра геомеханики и проблем горного производства Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Сенкус Валентин Витаутасович, кандидат технических наук, начальник горного отдела ООО «Проектуглестрой»

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Защита состоится 14 февраля 2019 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д212.102.02 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28. Факс:8 (3842) 39-69-60, E-mail:kuzstu@kuzstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» и на сайте организации по адресу: <http://science.kuzstu.ru/activities/gos-attestation/soresearchers/>

Автореферат разослан 14 декабря 2018 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



М.А. Тюленев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. На угольных шахтах России более 85% общего объёма подземной добычи на мощных угольных пластах осуществляется длинными комплексно-механизированными забоями с полным обрушением пород кровли (ДСО). Область применения ДСО ограничена участками прямоугольной формы с выдержанными по мощности и углу падения угольными пластами. Факторами, осложняющими эффективность применения ДСО, являются ограниченная площадь выемочных участков, наличие дизъюнктивных нарушений, переменная мощность пластов, что приводит к выборочной отработке шахтного поля, уменьшению коэффициента извлечения угля до 50%, снижению периода устойчивой работы шахт.

Альтернативным вариантом выемки угольных пластов, способным повысить эффективность подземной геотехнологии, являются системы разработки короткими забоями. Однако возможность их использования ограничена действующими нормативными документами, согласно которым камерные и камерно-столбовые системы разработки могут применяться на глубине не более 200 м при отработке угольных пластов, не склонных к динамическим явлениям.

Для расширения области применения короткозабойных систем разработки в условиях, нерегламентированных действующими нормативными документами, необходимо проведение комплексных аналитических и шахтных исследований, использование результатов которых на стадиях проектирования шахт и отработки угольных пластов позволит снизить потери угля и затраты на проведение противоударных мероприятий для обеспечения безопасности ведения горных работ.

В этой связи геомеханическое обоснование параметров систем разработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов на основе интеграции результатов количественного прогнозирования проявления динамических явлений, точечных шахтных измерений параметров состояния массива горных пород масштабного производственного эксперимента по управлению удароопасностью массива горных пород является актуальной научной задачей, имеющей существенное значение для развития отрасли наук о Земле.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по теме «Разработка технологии эффективного освоения угольных месторождений роботизированным комплексом с управляемым выпуском подкровельной толщи» (Соглашение № 14.604.21.0173 от 26.09.2017 г.).

Целью работы является геомеханическое обоснование параметров системы разработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов для отработки их в условиях, нерегламентированных действующими нормативными документами.

Объект исследований – система разработки короткими забоями склонного к горным ударам мощного угольного пласта, залегающего на большой глубине.

Предмет исследования –закономерности изменения напряженного состояния массива горных пород при отработке короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов.

Основная идея работы состоит в использовании методов численного моделирования и геофизических исследований для геомеханического обоснования параметров короткозабойной технологии отработки склонных к горным ударам мощных угольных пластов.

Задачи исследования:

- разработать метод прогноза потенциальной удароопасности отрабатываемого короткими забоями угольного пласта с учетом реальной горнотехнической ситуации;
- выявить закономерности изменения напряженного состояния массива горных пород при камерно-столбовой и камерной системах разработки склонных к горным ударам мощных угольных пластов;
- выполнить геомеханическое обоснование параметров систем разработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов.

Методы исследований: численное моделирование напряжённого состояния массива горных пород; геофизические исследования удароопасности угольного пласта, производственный эксперимент отработки короткими забоями мощного пласта.

Научные положения, защищаемые автором:

- метод прогноза потенциальной удароопасности склонного к горным ударам мощного угольного пласта с использованием комплексного показателя K_y обеспечивает количественную оценку напряженного состояния пласта на основе следующих граничных критериев: $K_y > 1,0$ – высокий уровень напряжений, удароопасное состояние; $K < K_y \leq 1,0$ – пограничный уровень напряжений, переход от категории НЕОПАСНО к категории ОПАСНО; $\frac{\sigma_{сж}}{k_{в\gamma}H} < K_y \leq K$ – переход от плотной к трещиноватой структуре, слабонапряжённое, неудароопасное состояние; $K_y \leq \frac{\sigma_{сж}}{k_{в\gamma}H}$ – разгружен, преимущественно трещиноватый, неудароопасный;

– при камерно-столбовой системе разработки в столбчатых угольных целиках и на краевых участках угольного пласта коэффициент концентрации вертикальных напряжений больше в 1,23 раза по сравнению с коэффициентом концентрации вертикальных напряжений при камерной системе разработки; при камерной системе разработки над выемочным блоком формируется зона разгрузки пород кровли высотой 3m, где m- вынимаемая мощность пласта, а при камерно- столбовой системе разработки высота этой зоны в 2,3 раза больше.

– геомеханическое обоснование параметров камерной системы разработки склонного к горным ударам мощного угольного пласта на нерегламентированной нормативными документами глубине обеспечивается послойной выемкой угля в камерах высотой 3,0-3,5 м и управлением кровлей междуканальными целиками при следующих условиях и параметрах: длина камер 75-100 м, ширина камер и междуканальных целиков 7 м, междублоковых целиков 21 м; крепле-

ние кровли и боков камеры анкерами длиной 2,6-3,2 м с шагом установки 1,0-1,5 м; крепление сопряжений камер с подготовительными выработками канатными анкерами АК01 длиной 4,8-6,5 м.

Научная новизна работы заключается:

- в обосновании метода прогноза динамических явлений в угольном пласте с использованием комплексного показателя удароопасности и формированием на его основе критериев для оценки напряженного состояния массива горных пород, определения ширины целиков и камер с учетом размеров зон разгрузки в породах кровли;

- в выявлении закономерностей изменения напряженного состояния массива горных пород при камерно-столбовой и камерной системах разработки, использование которых обеспечивает выбор варианта отработки удароопасного пласта в условиях, нерегламентированных нормативными документами;

- в геомеханическом обосновании параметров систем разработки короткими забоями мощных удароопасных пластов с учётом типа и конструкции крепи, формы и размеров выемочных участков, устойчивости пород кровли в камерах и на сопряжении выработок.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются:

- корректным применением современных методов научных исследований в виде численного и шахтного экспериментов;

- представительным объёмом натурных и аналитических исследований геомеханических процессов при целенаправленном изменении механических свойств склонного к горным ударам пласта и пространственного положения камер и угольных целиков;

- удовлетворительной сходимостью расчётных и измеренных параметров: размеров угольных целиков и камер, ширины зон разгрузки, смещений контурных реперов в кровле и боках выработок;

- результатами практического применения технологического регламента по безопасной отработке короткими забоями склонного к динамическим явлениям мощного пласта III Ольжерасского каменноугольного месторождения Кузбасса: отработано три блока, добыто 410 тыс. т угля, при суточной добыче до 3000 т, производительности труда по очистному забою до 88 т/выход.

Личный вклад автора заключается:

- в обобщении и анализе отечественного и зарубежного опыта управления геомеханическими процессами при отработке удароопасных угольных пластов короткими забоями;

- в разработке метода прогноза потенциальной удароопасности отработываемого короткими забоями угольного пласта с учетом реальной горнотехнической ситуации;

- в выявлении закономерностей изменения напряженного состояния массива горных пород при камерно-столбовой и камерной системах разработки склонных к горным ударам мощных угольных пластов;

- в организации и проведении масштабного шахтного эксперимента, внедрении разработанного технологического регламента по безопасной отработке

запасов, склонного к динамическим явлениям мощного пласта при отработке короткими забоями мощного угольного пласта III Ольжерасского каменно-угольного месторождения Кузбасса.

Научное значение работы состоит в геомеханическом обосновании параметров камерной системы разработки по сравнению с камерно-столбовой: рациональных размеров выемочных блоков, междублоковых, междуканнерных целиков и камер для безопасной отработки склонных к горным ударам мощных угольных пластов.

Отличие от ранее выполненных работ заключается в геомеханическом обосновании параметров систем разработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов с использованием метода прогноза потенциальной удароопасности мощных угольных пластов и внедрении разработанного технологического регламента по безопасной отработке запасов, склонных к динамическим явлениям мощных пластов в условиях, не регламентированных действующими нормативными документами.

Практическая значимость работы состоит в разработке и применении утвержденного технологического регламента по безопасной отработке запасов склонного к динамическим явлениям мощного пласта III Ольжерасского каменноугольного месторождения ЗАО «Распадская – Коксовая», возможности использования утвержденного регламента для выемки пластов-аналогов, а также методики научного сопровождения опытно-промышленных испытаний специализированными организациями.

Реализация работы. Результаты исследований использованы в условиях ЗАО «Распадская-Коксовая» при составлении и реализации документации на ведение горных работ на трёх выемочных участках для отработки пласта III. Объём добычи составил 410 тыс. т угля, при суточной добыче до 3000 т, достигнута производительности труда по очистному забою 88 т/выход.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на Международной научно-практической конференции «Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов» (г. Новокузнецк, 2012, 2018), Неделе горняка (г. Москва, 2015, 2017), Международном инновационном горном симпозиуме (г. Кемерово, 2017), научно-техническом совете АО «НЦ ВостНИИ» (г. Кемерово, 2017), семинаре АО «НИИГД» (г. Кемерово, 2017).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 8 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Объём работы: диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, приложений, изложена на 134 страницах машинописного текста и содержит 41 рисунок, 12 таблиц, список литературы из 131 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность, цель и задачи исследований.

В первой главе на основе анализа отечественного и зарубежного опыта управления геомеханическими процессами при отработке удароопасных угольных пластов установлено, что перспективными для отработки запасов участков ограниченных размеров и сложной геометрической формы являются различные

варианты короткозабойных систем разработки, однако область их применения ограничена требованиями нормативных документов.

Существенный вклад в создание и реализацию системы геомеханического обеспечения технологии подземной угледобычи внесли следующие известные отечественные и зарубежные учёные: В.Б. Артемьев, Г. Браунер, Я.А. Бич, Ф.П. Бублик, В.А. Гоголин, Ю.В. Громов, В.П. Дудукалов, В.В. Дырдин, П.В. Егоров, Ф.П. Ивченко, С.И. Калинин, Г.И. Коршунов, Т.И. Лазаревич, А.А. Линьков, Л.Д. Павлова, А.И. Петров, И.М. Петухов, А.А. Ренёв, М.А. Розенбаум, В.М. Серяков, В.А. Хмяляйнен, О.А. Хачай, Х.В. Хуве, Н.В. Черданцев, С.В. Черданцев, А.Н. Шабаров, Е.И. Шемякин, В.М. Шик, О. Якоби, Д.В. Яковлев и др.

По результатам анализа работ предшественников установлено, что в настоящее время риски возникновения горных ударов при отработке угольных пластов короткими забоями почти в три раза выше по сравнению с системой разработки длинными столбами.

В настоящее время отсутствуют надёжные методы прогноза локальных концентраторов упругой энергии. Поэтому по рекомендациям нормативных документов ВНИМИ, НЦ ВостНИИ осуществляется реализация профилактических мероприятий для снижения концентрации потенциальной упругой энергии деформирования в пределах всего обрабатываемого выемочного столба. Однако, как отмечается в работах многих ученых, реализация этих мероприятий и технологических решений приводит не только к росту производственных затрат и вероятности возникновения опасной производственной ситуации при проведении мероприятий, но и снижению производительности очистных и подготовительных забоев в 1,5 – 2,0 раза.

На основе проведённого анализа результатов исследований и опыта отработки склонных к горным ударам угольных пластов подтверждена актуальность проведения исследований с целью геомеханического обеспечения системы разработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов. Обоснованы цель и задачи исследований.

Во второй главе обоснованы критерии оценки напряженного состояния массива горных пород при отработке склонного к горным ударам мощного угольного пласта короткими забоями, доказано соответствие параметров напряжённого состояния горного массива, полученных по результатам вычислительных экспериментов и шахтных исследований геомеханических процессов.

Ведение горных работ должно проводиться с постоянным прогнозом степени удароопасности, приведением краевых частей пласта в неудароопасное состояние (при необходимости) и контролем эффективности выполненных мероприятий.

Для определения степени потенциальной удароопасности угольных пластов предлагается использовать комплексный коэффициент удароопасности K_y , учитывающий природные свойства и напряженное состояние угольного пласта, определяемый по формуле:

$$K_y = 0,01 K \frac{\tau_{\text{пред}}}{\tau_{\text{мкз}}}, \quad (1)$$

где K – коэффициент удароопасности, зависящий от прочности угля и пород в зоне упругого деформирования, %; $\tau_{\text{пред}}$ – предельные касательные напряжения, определяемые по паспорту прочности пород Кулона-Мора; $\tau_{\text{МКЭ}}$ – касательные напряжения, полученные по результатам численного моделирования или шахтных измерений.

Комплексный показатель обеспечивает уточнение коэффициента удароопасности, определяемого согласно «Инструкции по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений», в соответствии с реальной горнотехнической ситуацией.

Для проведения вычислительных экспериментов использовался пакет проблемно-ориентированных программ, разработанный в СибГИУ, реализованный на основе метода конечных элементов.

На рис.1 приведен фрагмент результатов численного моделирования распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород в окрестности выемочной камеры.

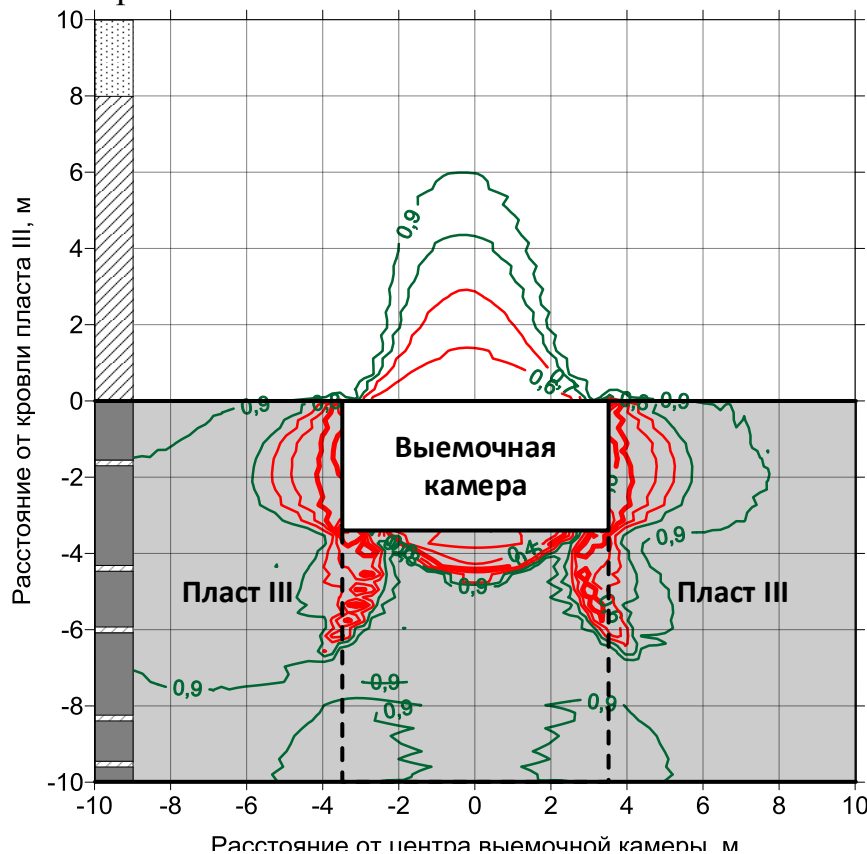


Рис. 1. Изолинии распределения комплексного показателя удароопасности после проведения выработки по верхнему слою

По результатам эндоскопической съемки в специально пробуренных скважинах определялось расстояние от бока выработки до границ зон разрушения, трещиноватости и плотного состояния угля.

Оценка напряженного состояния горного массива осуществлялась по методике ВНИМИ с помощью аппаратуры АЭШ-1 по величине показателя напряженности F .

По результатам сравнения выявленных границ зон, диапазона изменения показателя напряженности F и положения изолиний распределения комплексно-

го показателя удароопасности K_y (рис. 1), обоснованы критерии для оценки напряженного и удароопасного состояния угольного пласта (табл.1).

Таблица 1 - Критерии оценки напряженного и удароопасного состояния угольного пласта

Диапазон изменения		Состояние угольного пласта
показателя напряженности F	комплексного показателя удароопасности K_y	
$F \geq 1,0$	$K_y \leq \frac{\sigma_{сж}}{k_{в}\gamma H}$	разгружен, преимущественно трещиноватый, неудароопасный
$0,20 \leq F < 1,0$	$\frac{\sigma_{сж}}{k_{в}\gamma H} < K_y \leq K$	переход от плотной к трещиноватой структуре, слабонапряжённое (неудароопасное) состояние
$0,13 \leq F < 0,20$	$K < K_y \leq 1,0$	пограничный уровень напряжений (переход от категории НЕОПАСНО к категории ОПАСНО)
$0,07 \leq F \leq 0,12$	$K_y > 1,0$	высокий уровень напряжений, соответствующий категории ОПАСНО

В таблице 1 приняты следующие обозначения: $k_{в}$ - коэффициент концентрации вертикальных напряжений; $\sigma_{сж}$ - предел прочности угля при сжатии; H - глубина разработки; γ - объемный вес пород.

Результаты количественного сравнения вычисленных и измеренных в шахтных условиях параметров приведены в табл.2, согласно которым отклонения величин соответствуют погрешности исходных горно-геологических данных, точности измерения смещений контура горных выработок и показателя напряженности.

Таблица 2- Вычисленные и измеренные размеры зон предразрушения и смещения контура выработок

Наименование параметра, размерность	Участок наблюдений	Диапазон изменения параметров		Методика шахтных измерений
		вычисленных	измеренных	
Ширина зоны предразрушения, м	Магистральный штрек пласта III	3-6	3-7	ВНИМИ
Ширина зоны предразрушения, м	Выемочная камера №2	3-7	3-4	ВНИМИ
Конвергенция кровля-почва, мм	Целик между камерами	60 - 85	48 – 78	ВостНИИ
Конвергенция бок – бок, мм	Целик между камерами	100 - 190	126 - 210	ВостНИИ

На основе сопоставления предлагаемых критериев оценки напряженного состояния угольного пласта по результатам вычислительных экспериментов и

натурных измерений по методике ВНИМИ установлено, что границей зоны безопасного ведения работ по условиям возникновения горных ударов является расстояние от бока выработки, при котором равны единице величины комплексного показателя удароопасности K_y и показателя напряженности F .

Из полученных результатов следует **первое научное положение**: метод прогноза потенциальной удароопасности склонного к горным ударам мощного угольного пласта с использованием комплексного показателя K_y обеспечивает количественную оценку напряженного состояния пласта на основе следующих граничных критериев: $K_y > 1,0$ – высокий уровень напряжений, удароопасное состояние; $K < K_y \leq 1,0$ – пограничный уровень напряжений, переход от категории НЕОПАСНО к категории ОПАСНО; $\frac{\sigma_{сж}}{k_{вγH}} < K_y \leq K$ – переход от плотной к трещиноватой структуре, слабонапряжённое, неудароопасное состояние; $K_y \leq \frac{\sigma_{сж}}{k_{вγH}}$ – разгружен, преимущественно трещиноватый, неудароопасный.

В третьей главе приведены результаты численного моделирования, выполнен их анализ и выявлены закономерности изменения напряженного состояния массива горных пород при камерно-столбовой и камерной системах разработки мощного пологого угольного пласта.

Для моделирования геомеханических процессов при короткозабойной отработке мощного угольного пласта в качестве объекта исследования принят пласт III мощностью 7,86-13,03 м. Вмещающие породы представлены аргиллитами и алевролитами. Глубина горных работ на участках КСО 1-1 КСО 1-2 составляет 300-370 м (рис. 2). Проектная мощность участка 300 тыс. т угля в год.

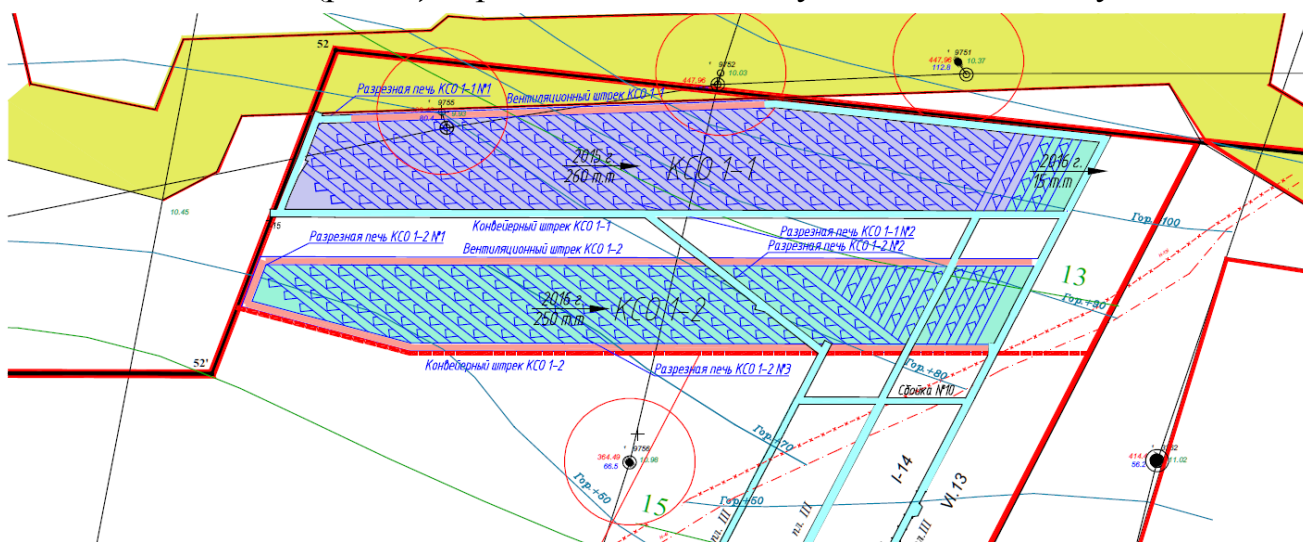


Рис. 2. Схема отработки пласта III короткими забоями, выемочные блоки КСО 1-1 и КСО 1-2, шахта ЗАО «Распадская-Коксовая»

Для исследования приняты два варианта системы разработки короткими забоями: камерно-столбовая и камерная:

- камерно-столбовая: ширина камер 6 м, заходок 3 м, ширина целиков между камерами 2 м, ширина блока 78 м;
- камерная система: ширина камер 7 м, ширина целиков между камерами 7 м, ширина блока 77 м, блоки разделены целиком шириной 21 м.

При численном моделировании в углепородной толще учтено 100 породных слоёв, количество конечных элементов равно 40400. Всего в процессе моделирования рассмотрено 139 вариантов расположения выработок и угольных целиков при отработке трёх слоёв пласта III.

На рис. 3 показаны изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений после отработки 6 камер при камерно-столбовой и камерной системах разработки.

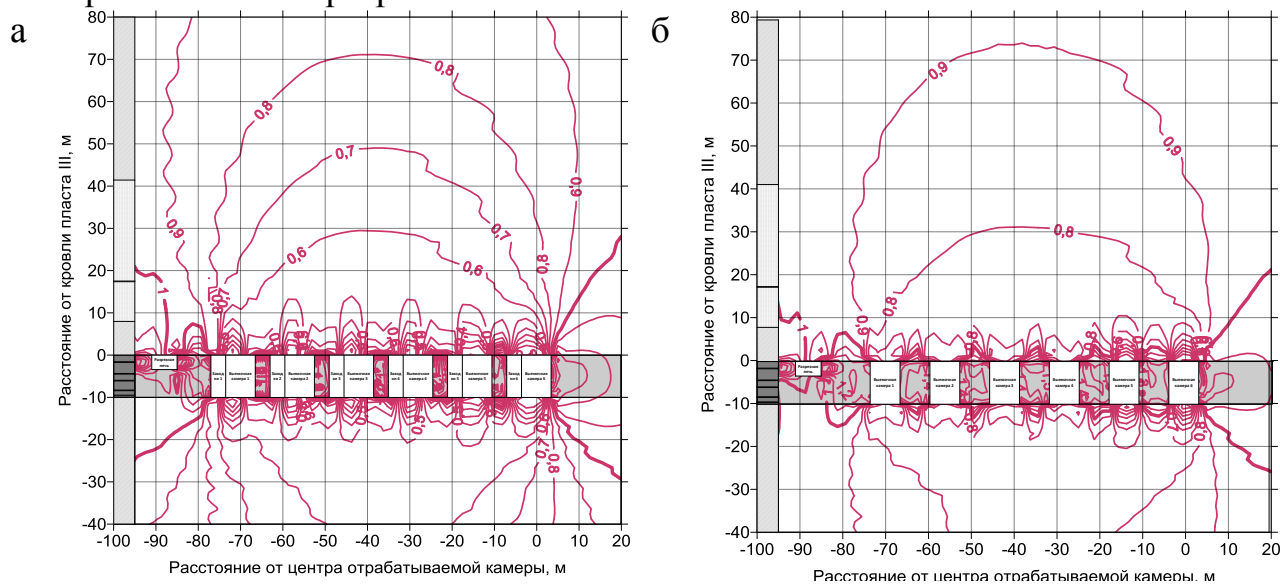


Рис. 3. Изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений при камерно-столбовой (а) и камерной (б) системах разработки

Из анализа рисунков следует, что после отработки блока при камерно-столбовой и камерной системах разработок в породах кровли формируется общий свод естественного равновесия. Высота свода при камерно-столбовой системе разработки 2,3 раза больше, чем при камерной.

Максимальный коэффициент концентрации вертикальных напряжений выявлен в краевых участках угольного пласта на границе блока при камерно-столбовой системе на 23% больше, чем при камерной. При ширине отработываемого блока до 80 м камерной системой разработки коэффициент концентрации вертикальных напряжений уменьшается до 0,9 над междуканальными целиками и увеличивается до 1,4 над междублоковыми.

На рис. 4 приведены изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород после отработки 6 камер при камерно-столбовой и камерной системах разработки. При послойной выемке пласта от кровли к почве камерно-столбовой системой разработки несущая способность междуканальных столбчатых целиков высотой 3-10 м в середине блока уменьшается в 1,25-1,50 раза (рис. 4 а).

Высокая податливость столбчатых целиков приводит к формированию свода обрушения высотой 20 м по контакту с подрабатываемым пластом-спутником. В этих условиях применение камерно-столбовой системы разработки не рекомендуется.

При камерной системе разработки несущая способность ленточных целиков в условиях двухосного напряженного состояния увеличивается пропорцио-

наль-нокоэффициенту бокового давления по оси целика по сравнению с несущей способностью столбчатых целиков, находящихся в условиях одноосного сжатия. За счёт увеличения бокового давления несущая способность ленточных целиков сохраняется на уровне $0,5 \sigma_{сж}$ (рис. 4 б).

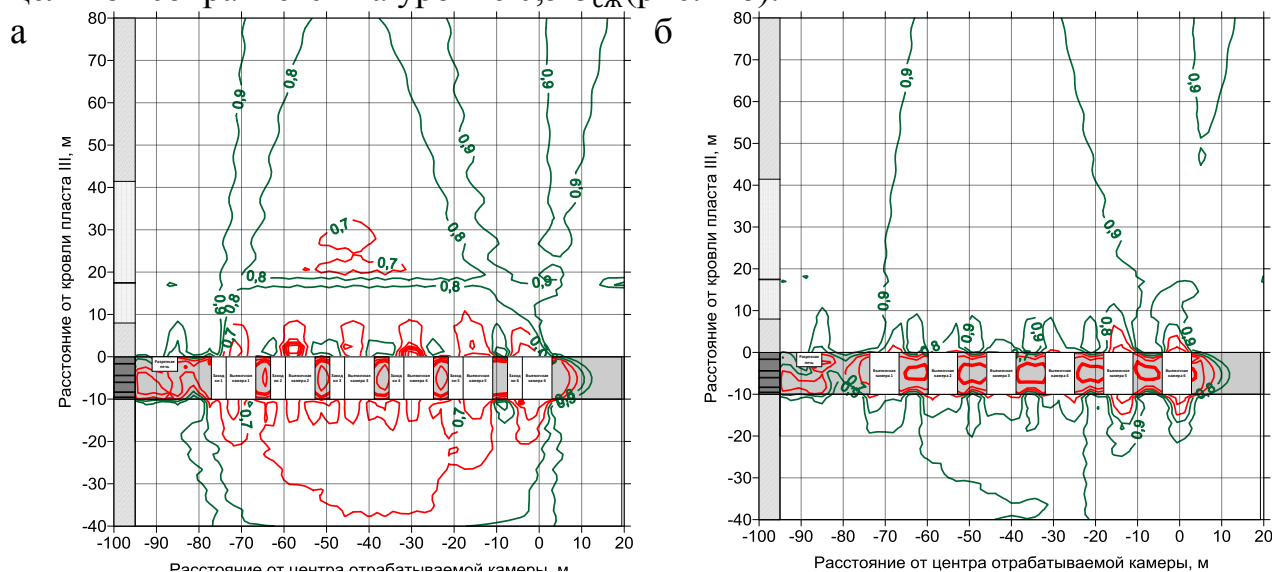


Рис. 4. Изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород при камерно-столбовой (а) и камерной (б) системах разработки

Таким образом, отличительной особенностью напряжённого состояния массива горных пород при камерной системе разработки по сравнению с камерно-столбовой является повышение устойчивости пород кровли за счет применения ленточных целиков вместо столбчатых.

Выявленные закономерности позволили сформулировать **второе научное положение**: при камерно-столбовой системе разработки в столбчатых угольных целиках и на краевых участках угольного пласта коэффициент концентрации вертикальных напряжений больше в 1,23 раза по сравнению с коэффициентом концентрации вертикальных напряжений при камерной системе разработки; при камерной системе разработки над выемочным блоком формируется зона разгрузки пород кровли высотой $3m$, где m - вынимаемая мощность пласта, а при камерно-столбовой системе разработки высота этой зоны в 2,3 раза больше.

В четвёртой главе разработан метод оперативного определения пространственного положения локальных концентраторов вертикальных напряжений в угольных целиках и краевых участках отрабатываемого удароопасного пласта, приведены результаты реализации камерной системы отработки мощного угольного пласта III в условиях ЗАО «Распадская-Коксовая».

Сущность метода состоит в использовании функции единичного влияния ψ веса подработанных пород кровли на вертикальные напряжения в угольном пласте. Рассматривается влияние очистного выработанного пространства на величины вертикальных напряжений в окрестности заданной точки. Площадь выработанного пространства разделена на элементарные участки s_j , положение которых в плоскости пласта определяется полярными координатами r_j и θ_j . Дополнительные вертикальные напряжения $\sigma_j^{\text{доп}}$ под давлением пород кровли в

пределах площади s_j элемента, с заданными координатами, определяются по формуле:

$$\sigma_j^{\text{доп}} = a_0 \iint r_j \psi(r_j, \theta_j, a_1, a_2) dr_j d\theta_j, \quad (2)$$

где a_0, a_1, a_2 – эмпирические коэффициенты.

Для интегрирования по формуле (2) предлагается применить интеграционную сетку. Площадь всей интеграционной сетки делится на элементарные площадки таким образом, чтобы влияние веса пород кровли над каждой площадкой было одинаковым. Это достигается посредством выбора общего вида функции ψ , соответствующей зависимости распределения давления пород над элементарной выработкой. В качестве общего вида функции влияния принято уравнение эпюры опорного горного давления.

Посредством деления площади эпюры опорного давления на равные части определены координаты точек на лучах интеграционной сетки.

В табл. 3 приведены безразмерные полярные координаты $\frac{r_i}{l_{\text{пр}}}$ на луче интеграционной сетки (для расчёта принята ширина зоны опорного горного давления $l_{\text{пр}} = 120\text{м}$ для условий пласта III).

Таблица 3. Безразмерные полярные координаты на луче интеграционной сетки

Параметры	Номера точек и их безразмерные координаты									
Номер точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Координаты	0,02	0,098	0,172	0,247	0,324	0,403	0,486	0,576	0,678	0,867

Метод оперативного определения положения локальных концентраторов вертикальных напряжений в обрабатываемом короткими забоями угольном пласте при сложной форме выработанного пространства и угольных целиков заключается в выполнении следующих этапов.

1) В масштабе плана горных выработок проводится построение интеграционной сетки. Координаты точек сетки определяются согласно табл. 3.

2) Центр интеграционной сетки (точка С) совмещается на плане горных выработок с точкой, в окрестности которой требуется определить вертикальные напряжения в угольном пласте (рис. 5).

3) Вычисляются вертикальные напряжения в окрестности точки С

$$\sigma_v^C = k_{\text{кр}} \gamma H \frac{N}{N-n}, \quad (3)$$

где $k_{\text{кр}}$ – коэффициент, учитывающий тип основной кровли по обрушаемости, принимается равным 0,8 для легкообрушающейся, 1,0 – среднеобрушающейся, 1,2 – труднообрушающейся кровли; N – общее количество точек интеграционной сетки; n – количества точек интеграционной сетки, оказавшихся в контуре выработок.

4) Интеграционная сетка перемещается в пределах плана горных выработок и для каждой точки выполняются операции, указанные в пп. 2-3.

5) На плане горных выработок выявляются участки с максимальными вертикальными напряжениями.

6) По величинам вертикальных напряжений σ_v^C в окрестности точки С определяется состояние угольного массива и обосновывается необходимость про-

ведения противоударных мероприятий или упрочнения угольного массива в краевой части пласта.

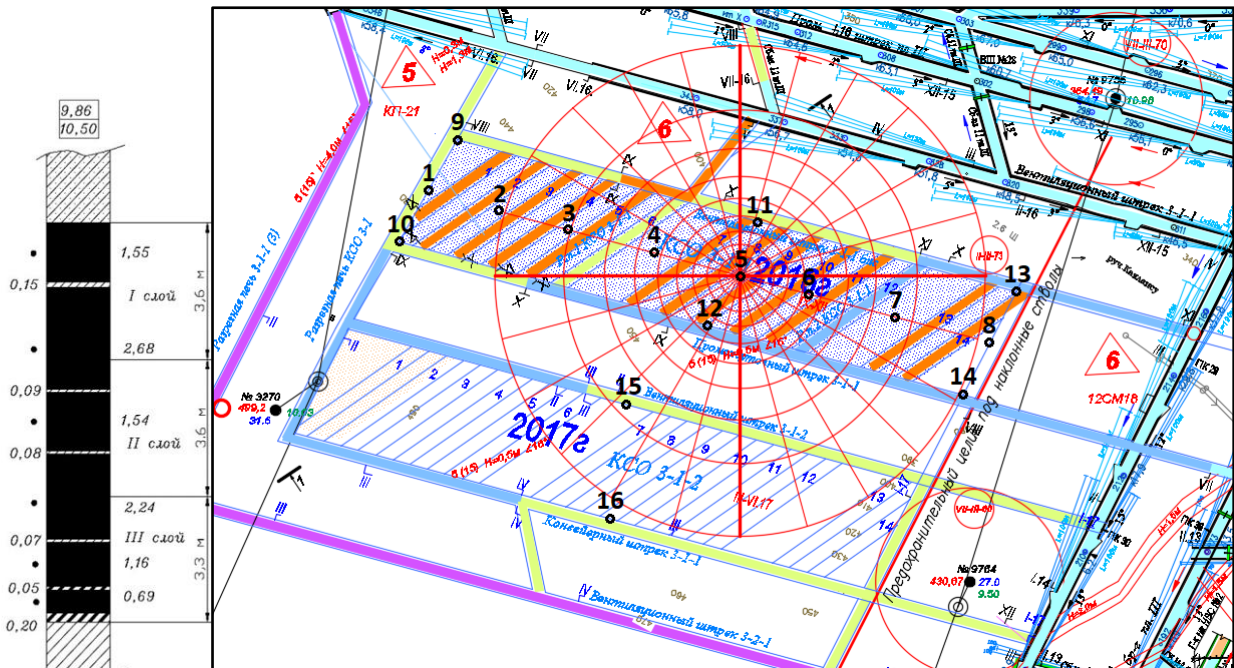


Рис. 5. План горных выработок пласта III шахты ЗАО «Распадская-Коксовая» с расположением интеграционной сетки

На рис. 6 приведено распределение вертикальных напряжений по сечению 1-8 на рис. 5. На графике указаны участки для первоочередного проведения прогноза зон «ОПАСНО» (в окрестности точек 3, 5, 6). В окрестности остальных точек такой прогноз не требуется.

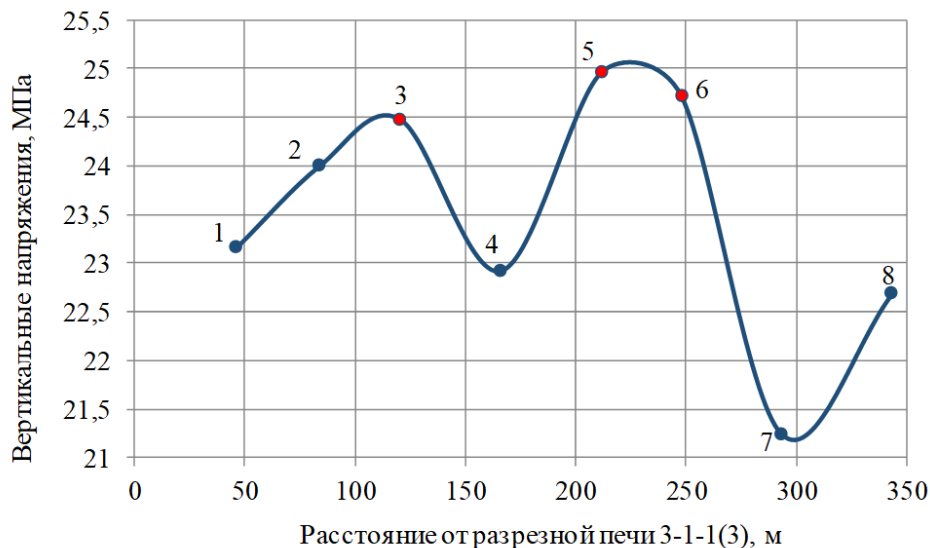
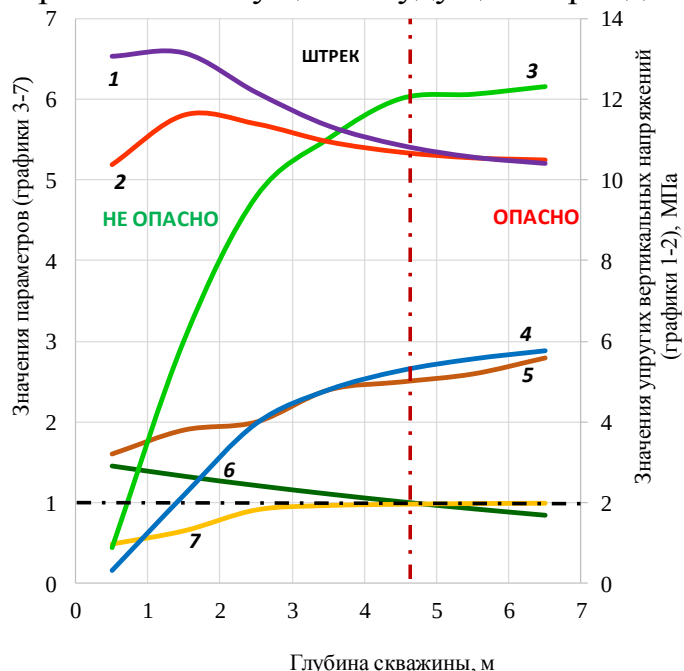


Рис. 6. График распределения вертикальных напряжений в угольном пласте в пределах выемочного блока 3-1-3, пласта III

Результаты изучения в течение трёх лет напряжённого состояния массива горных пород на разных расстояниях от бока выработки численными, натурными визуальными-инструментальными методами, а также оценки эффективности

противоударных мероприятий на пласте III, систематизированы в виде графиков (рис. 7). Представленные графики позволяют по отдельным известным параметрам напряженного состояния массива горных пород определить численные значения других величин, необходимых для принятия решений по управлению удароопасностью в соответствии с пространственно-временным расположением горных выработок в текущем и будущем периодах.



1 – упругие вертикальные напряжения; 2 – упругопластические вертикальные напряжения; 3 – упругие горизонтальные напряжения; 4 – выход штыва; 5 – упругопластические горизонтальные напряжения; 6 – параметр импульсного электромагнитного излучения массива горных пород по методике ВНИМИ аппаратурой АЭШ-1; 7 – комплексный показатель удароопасности

Рис. 7. Графики изменения параметров напряженного состояния массива горных пород в окрестности верхнего штрека пласта III

Аналогичные графики построены при разных глубинах скважин для угольных целиков и боков выемочных камер.

Реализация и внедрение системы разработки короткими забоями на пласте III в условиях ЗАО «Распадская-Коксовая» осуществлялось поэтапно.

Первый этап (2014-2015 гг.) – ведение горных работ по камерно-столбовой системе разработки в соответствии с исходной проектной документацией. Применялась послойная камерно-столбовая система разработки. По результатам опытно-промышленных испытаний технологии камерно-столбовой системы разработки на первом этапе принято решение региональной комиссии по горным ударам о несоответствии параметров камерно-столбовой системы разработки горно-геологическим и горнотехническим условиям пласта III.

Второй этап (2015-2016 гг.) – корректировка проектной документации и методики научного сопровождения опытно-промышленных испытаний. По итогам второго этапа совместно с ВНИМИ и ВостНИИ были разработаны рекомендации и технологический регламент по безопасной отработке участков КСО 3-

11 системой разработки короткими забоями в условиях пласта III, блока №2 ЗАО «Распадская-Коксовая».

Третий этап (2016-2018 гг.) – ведение горных работ по камерной системе разработки в блоках 1-2 и 3-1-1 согласно скорректированной проектной документации и технологического регламента. На этом этапе применялась послойная камерная система разработки. Параметры отработки короткими столбами в условиях пласта III АО «Распадская-Коксовая» для выемочного блока КСО 1-1 приведены в технологическом регламенте.

Результаты опытно-промышленных испытаний технологии камерной системы разработки подтвердили высокую её адаптивность к горно-геологическим и горнотехническим условиям пласта III шахта ЗАО «Распадская-Коксовая».

Реализация разработанной системы геомеханического обеспечения технологии склонного к горным ударам мощного III в условиях шахты ЗАО «Распадская-Коксовая» обеспечила добычу 410 тыс. т угля в пределах трёх выемочных участков с фактическим экономическим эффектом 227 млн. рублей.

По полученным результатам обосновано **третье научное положение:** геомеханическое обоснование параметров камерной системы разработки склонного к горным ударам мощного угольного пласта на нерегламентированной нормативными документами глубине обеспечивается послойной выемкой угля в камерах высотой 3,0-3,5 м и управлением кровлей междукамерными целиками при следующих условиях и параметрах: длина камер 75-100 м, ширина камер и междукамерных целиков 7 м, междублоковых целиков 21 м; крепление кровли и боков камеры анкерами длиной 2,6-3,2 м с шагом установки 1,0-1,5 м; крепление сопряжений камер с подготовительными выработками канатными анкерами АК01 длиной 4,8-6,5 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи геомеханического обоснования параметров систем разработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов, имеющей существенное значение для развития отрасли наук о Земле.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации заключаются в следующем:

1. Разработан метод прогноза потенциальной удароопасности склонного к горным ударам мощного угольного пласта с использованием комплексного показателя K_y и обоснованных по результатам вычислительных и шахтных экспериментов критериев количественной оценки напряженного состояния: $K_y > 1,0$ – высокий уровень напряжений, удароопасное состояние; $K < K_y \leq 1,0$ – пограничный уровень напряжений, переход от категории НЕОПАСНО к категории ОПАСНО; $\frac{\sigma_{сж}}{k_{в\gamma}H} < K_y \leq K$ – переход от плотной к трещиноватой структуре, слабонапряжённое, неудароопасное состояние; $K_y \leq \frac{\sigma_{сж}}{k_{в\gamma}H}$ – разгружен, преимущественно трещиноватый, неудароопасный.

2. Установлено, что границей зоны безопасного ведения работ по условиям возникновения горных ударов является расстояние от бока выработки, при котором равны единице величины комплексного показателя удароопасности K_y и показателя напряженности F .

3. Выявлены закономерности изменения напряженного состояния массива горных пород при камерно-столбовой системе разработки по сравнению с камерной: коэффициент концентрации вертикальных напряжений в столбчатых угольных целиках и на краевых участках угольного пласта возрастает 1,23 раза, а высота зоны разгрузки пород кровли - в 2,3 раза; при камерной системе разработки площадь зоны предразрушения угля в поперечном сечении междуканнерных целиков увеличивается пропорционально ширине отработанного блока и высоте каннер, а коэффициент концентрации вертикальных напряжений в краевых участках пласта - пропорционально ширине каннер.

4. Разработан методопределения положения локальных концентраторов вертикальных напряжений с учетом формы и размеров угольных целиков, подготовительных выработок и каннер в отрабатываемом удароопасном пласте, позволяющий оперативно выбирать вид противоударных мероприятий и устанавливать их параметры.

5. Разработаны рекомендации для геомеханического обоснования параметров систем разработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов, которые включают поэтапное выполнение следующих видов работ: определение степени потенциальной удароопасности угольных пластов; установление по результатам вычислительных экспериментов границ зон предразрушения угля и пород, концентраторов вертикальных напряжений; выбор и реализация профилактических противоударных мероприятий, управление горным давлением для обеспечения устойчивости каннер и угольных целиков.

6. Разработан и утвержден в установленном порядке технологический регламент по безопасной отработке запасов, склонного к динамическим явлениям мощного пласта, системой разработки короткими забоями, позволяющий выполнять текущий прогноз параметровнапряженного состояния массива горных пород и корректировку профилактических мероприятий.

7. Результаты исследований в виде рекомендаций включены в документацию на ведение горных работ в условиях пласта III ЗАО «Распадская-Коксовая», что подтверждено соответствующими справками и протоколами. По результатам внедрения обоснованных параметров систем разработки короткими забоями добыто 410 тыс. т угля в пределах трёх выемочных участков при суточной добыче до 3000 т, производительности труда по очистному забою до 88 т/выход. Фактический экономический эффект составил 227 млн. руб.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИОПУБЛИКОВАНО

в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Черепов А.А.Способы и средства геомеханического обеспечения безопасности технологии отработки короткими забоями мощных угольных пластов[Текст] / А.А. Черепов // Вестник КузГТУ. – 2018. –№1. – С. 66–71.

2. **Черепов А.А.**, Ширяев С.Н., Кулак В.Ю. Исследование распределения напряжений и деформаций геомассива при камерно-столбовой системе разработки мощного пологого угольного пласта [Текст] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – №9. – С. 170–178.

3. **Черепов А.А.**, Ширяев С.Н., Кулак В.Ю. Обоснование геомеханических параметров камерной системы разработки мощного пологого угольного пласта [Текст] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – №9. – С. 161–169.

4. **Черепов А.А.**, Павлова Л.Д. Оценка соответствия результатов численного моделирования и шахтных исследований параметров напряжённо-деформированного состояния массива горных пород [Текст] // Вестник КузГТУ. – 2017. – № 6. – С. 61–68.

5. Кулак В.Ю., **Черепов А.А.**, Ширяев С.Н. Прогнозирование горных ударов при отработке склонных к газодинамическим явлениям угольных пластов [Текст] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – №3. – С. 328–336.

6. Волошин В.А., Риб С.В., Фрянов В.Н., **Черепов А.А.** Закономерности формирования зон повышенного горного давления под влиянием угольного целика-штампа при отработке свиты пластов [Текст] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 7. – С. 23–29.

7. Полевщиков Г.Я., Шинкевич М.В., Радченко А.В., **Черепов А.А.**, Леонтьева Е.В. Фрактальная особенность структуризации массива горных пород в изменениях давления на призабойную часть угольного пласта, отрабатываемого длинным очистным забоем [Текст] // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – №1. – С. 16–23.

8. **Черепов А.А.**, Пичугин В.А., Макаров П.В., Евтушенко Е.П. Анализ разработки удароопасных угольных пластов на примере выемочного участка лавы 3-32 филиала «Шахта «Алардинская» ОАО «ОУК «Южкузбассуголь». Прогностическая модель опасных динамических явлений в горном массиве с выработками [Текст] // Известия высших учебных заведений. Физика. Томский гос. универ. 2012 – Т. 55. – №7/2. – С. 139–143.

в прочих изданиях

9. **Черепов А.А.** Анализ производственного опыта отработки короткими забоями склонного к динамическим явлениям мощного угольного пласта / А.А. Черепов [Текст] // Научноёмкие технологии разработки и использования минеральных. – 2018. – № 4. – С. 108–112.

10. Фрянов В.Н. Геомеханическое обоснование на основе численного моделирования параметров комбинированной технологии отработки выемочных участков при использовании роботизированных средств подземной угледобычи [Текст] / В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова, **А.А. Черепов** // Научноёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2018. – № 4. – С. 301–306.

11. Климов В.Г., Тюхрин В.Г., **Черепов А.А.** Разработка удароопасных угольных пластов на примере выемочного участка лавы 3-32 филиала «Шахта «Алардинская» ОАО «ОУК «Южкузбассуголь» [Текст] // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2012. – С. 79–87.

Подписано в печать 10.12.2018 г.
Формат бумаги 60 × 84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,05. Уч.-изд. л. 1,17. Тираж 100 экз. Заказ № _____

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ

