

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

На правах рукописи

**ЧЕРЕПОВ АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ КОРОТКИМИ ЗАБОЯМИ  
СКЛОННЫХ К ГОРНЫМ УДАРАМ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ  
ПЛАСТОВ**

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

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

д-р техн. наук, доцент Л.Д. Павлова

Кемерово – 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОПЫТА И НАПРАВЛЕНИЙ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ КОРОТКИМИ ЗАБОЯМИ СКЛОННЫХ К ГОРНЫМ УДАРАМ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ .	12
1.1 Анализ производственного опыта управления геомеханическими процессами при отработке удароопасных угольных пластов короткими забоями .....	12
1.2 Выявление особенностей проявления газодинамических явлений при подземной разработке короткими забоями склонных к горным ударам угольных пластов .....	14
1.3 Анализ направлений научных исследований геомеханического обоснования короткозабойных систем подземной разработки склонных к горным ударам угольных пластов .....	23
1.4 Актуальность, цель и задачи совершенствования способов и средств геомеханического обоснования параметров систем разработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов.....	31
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОГНОЗА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УДАРООПАСНОСТИ ОТРАБАТЫВАЕМОГО УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЯ В МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКАХ И КРАЕВЫХ УЧАСТКАХ МОЩНОГО ПЛАСТА .....	33
2.1 Разработка метода количественной оценки напряженного и удароопасного состояния массива горных пород при отработке склонного к горным ударам мощного угольного пласта короткими забоями .....	33
2.2 Разработка программы и описание технологии проведения шахтных измерений для оценки напряжённого состояния угольного массива в краевой части пласта .....	43
2.3 Оценка соответствия результатов вычислительных экспериментов данным шахтных исследований геомеханических процессов при	

короткозабойной отработке склонного к горным ударам мощного угольного пласта .....	51
2.4 Выводы.....	55
ГЛАВА 3. ИЗУЧЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ КАМЕРНО-СТОЛБОВОЙ И КАМЕРНОЙ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ СКЛОННЫХ К ГОРНЫМ УДАРАМ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ .....	57
3.1 Исследование напряженного состояния массива горных пород при камерно-столбовой системе разработки склонного к горным ударам мощного угольного пласта.....	57
3.2 Исследование напряженного состояния массива горных пород при камерной системе разработки склонного к горным ударам мощного угольного пласта .....	70
3.3 Выводы.....	80
ГЛАВА 4. ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ КОРОТКИМИ ЗАБОЯМИ СКЛОННЫХ К ГОРНЫМ УДАРАМ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ.....	82
4.1 Разработка метода оперативного определения положения локальных концентраторов вертикальных напряжений в отработываемом короткими забоями угольном пласте .....	82
4.2 Разработка рекомендаций для геомеханического обоснования параметров технологии отработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов .....	95
4.3 Реализация камерной системы разработки склонного к горным ударам мощного угольного пласта III в условиях ЗАО «Распадская-Коксовая»...	108
4.4 Выводы.....	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	114
ЛИТЕРАТУРА .....	116
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	132
Приложение А Титульный лист технологического регламента .....	132

Приложение В Справка АО «НЦ ВостНИИ» о подтверждении новизны и актуальности результатов научных исследований.....	133
Приложение С Справка АО «НИИГД» о подтверждении научной и практической ценности результатов научных исследований .....	134
Приложение Д Справка УК «Распадская» об экономической эффективности отработки запасов КСО.....	135

## ВВЕДЕНИЕ

**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 200м 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 и 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 26.09.2017г.).

**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 пластах.

**Задачи исследования:**

– разработать метод прогноза потенциальной удароопасности обрабатываемого 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;  $\frac{\sigma_{сж}}{K_{вγH}} < K_y \leq K$  – переход от плотной к трещиноватой структуре, слабонапряжённое, неудароопасное состояние;  $K_y \leq \frac{\sigma_{сж}}{K_{вγH}}$  – разгружен, преимущественно трещиноватый, неудароопасный;

– 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.

– реализация 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.

**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;

– 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;

– 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 в условиях Томь-Усинского 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;

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

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

– 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 в условиях Томь-Усинского месторождения Кузбасса.

**Научное значение работы** состоит в геомеханическом обосновании параметров камерной системы разработки по сравнению с камерно-столбовой: рациональных размеров выемочных блоков, междублоковых, междукамерных

целиков и камер для безопасной отработки склонных к горным ударам мощных 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 склонных к динамическим явлениям мощного пласта III Ольжерасского каменноугольного месторождения ЗАО «Распадская – Коксовая», возможности использования утвержденного регламента для выемки пластов-аналогов, а также методики научного сопровождением 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. Объем 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 «Наукоемкие 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 135 страницах машинописного текста и содержит 41 рисунок, 12 таблиц, список литературы из 132 наименований.

# **ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОПЫТА И НАПРАВЛЕНИЙ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ КОРОТКИМИ ЗАБОЯМИ СКЛОННЫХ К ГОРНЫМ УДАРАМ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

В настоящей главе приведены результаты обобщения производственного опыта подземной разработки склонных к горным ударам угольных пластов. Установлено, что основные параметры систем разработки зависят от результатов взаимодействия технологических и геомеханических процессов, поэтому предлагается на основе достижений горной и смежных наук в области развития способов и средств управления упругой энергией геомассива создание системы геомеханического обоснования параметров технологии разработки короткими забоями склонных к газодинамическим явлениям мощных пологих угольных пластов.

## **1.1 Анализ производственного опыта управления геомеханическими процессами при отработке удароопасных угольных пластов короткими забоями**

По результатам анализа запасов угля на угольных шахтах установлено [3], что по состоянию на 2013 г. в недрах Кузбасса до глубины 600 м сконцентрировано 218,5 млрд. т угля.

В горной практике принято все балансовые запасы делить на три группы [59]: высокотехнологичные, технологичные и низкотехнологичные.

Отработка высокотехнологичных запасов подземным способом осуществляется, как правило, системами разработки с длинными столбами с полным обрушением пород кровли по простиранию с выемкой угля в лавах, оснащённых средствами комплексной механизации (88 % от общего объёма добычи). Монопольное применение этой системы разработки при длине

выемочных столбов до 4 км и лавы до 400 м привело к выборочной отработке участков угольных пластов с углом падения до 15°, мощностью 1,7-4,0 м, резкому сокращению разведанных балансовых запасов угля в недрах.

Значительная часть низкотехнологичных запасов полезных ископаемых в пределах горных отводов действующих шахт, согласно [3, 4] до 23%, законсервирована из-за отсутствия эффективной и безопасной технологии отработки мощных угольных пластов, склонных к газодинамическим явлениям, самовозгоранию, в зонах геологических нарушений, под затопленными водой выработанными пространствами верхних пластов свиты и др. [1, 2]. Высокие риски возникновения опасных производственных ситуаций при отработке низкотехнологичных остаточных запасов подтверждаются 127 горными ударами и 196 внезапными выбросами угля и газа в Кузбассе [6].

На первом этапе исследований проведён анализ эффективности отработки склонных к горным ударам угольных пластов системой разработки длинными столбами и установлено следующее:

1) Запасы угольных пластов, склонных к газодинамическим явлениям, на действующих шахтах отнесены к балансовым и разрабатываются, в основном, длинными комплексно-механизированными забоями, несмотря на повышенный риск возникновения опасных производственных ситуаций [3, 8, 10].

2) Комплекс профилактических мероприятий, регламентированных действующими нормативными документами, не исключает полностью вероятность возникновения горного удара, так как не раскрыт с достаточной для практики точностью механизм формирования концентраторов упругой энергии в геомассиве при совокупном влиянии природных и техногенных факторов [2, 5-7, 9, 20, 33 – 35, 38, 46, 58].

3) Для выявления причин возникновения и характера проявления горных ударов на угольных шахтах России применяется гипотеза ударов

давления в угольном пласте и почти не учитывается косвенное влияние горных ударов кровли, известных из практики работы зарубежных шахт [14].

4) Действующие в России нормативные документы и результаты исследований не всегда учитывают совокупное влияние на характер проявления горных ударов следующих факторов: наличие в геотектонических районах горизонтальных напряжений, превышающих вертикальные; пучение или разломы пород почвы; негативное влияние на состояние геомассива передовых выработок, в том числе демонтажных камер; устойчивость в зоне влияния зависающих подработанных пород кровли системы параллельных подготовительных выработок, охраняемых угольными целиками различной ширины, при высокой вероятности внезапного массового их разрушения [2, 6, 9,11,12, 38, 49 – 51, 130].

5) Несмотря на проведение комплекса противоударных мероприятий интенсивность проявления газодинамических явлений остаётся высокой. По данным эффективность противоударных мероприятий не превышает 50% [2, 6, 7, 15, 18, 28, 35, 36, 38, 47, 101, 102, 118, 119 и др.].

## **1.2 Выявление особенностей проявления газодинамических явлений при подземной разработке короткими забоями склонных к горным ударам угольных пластов**

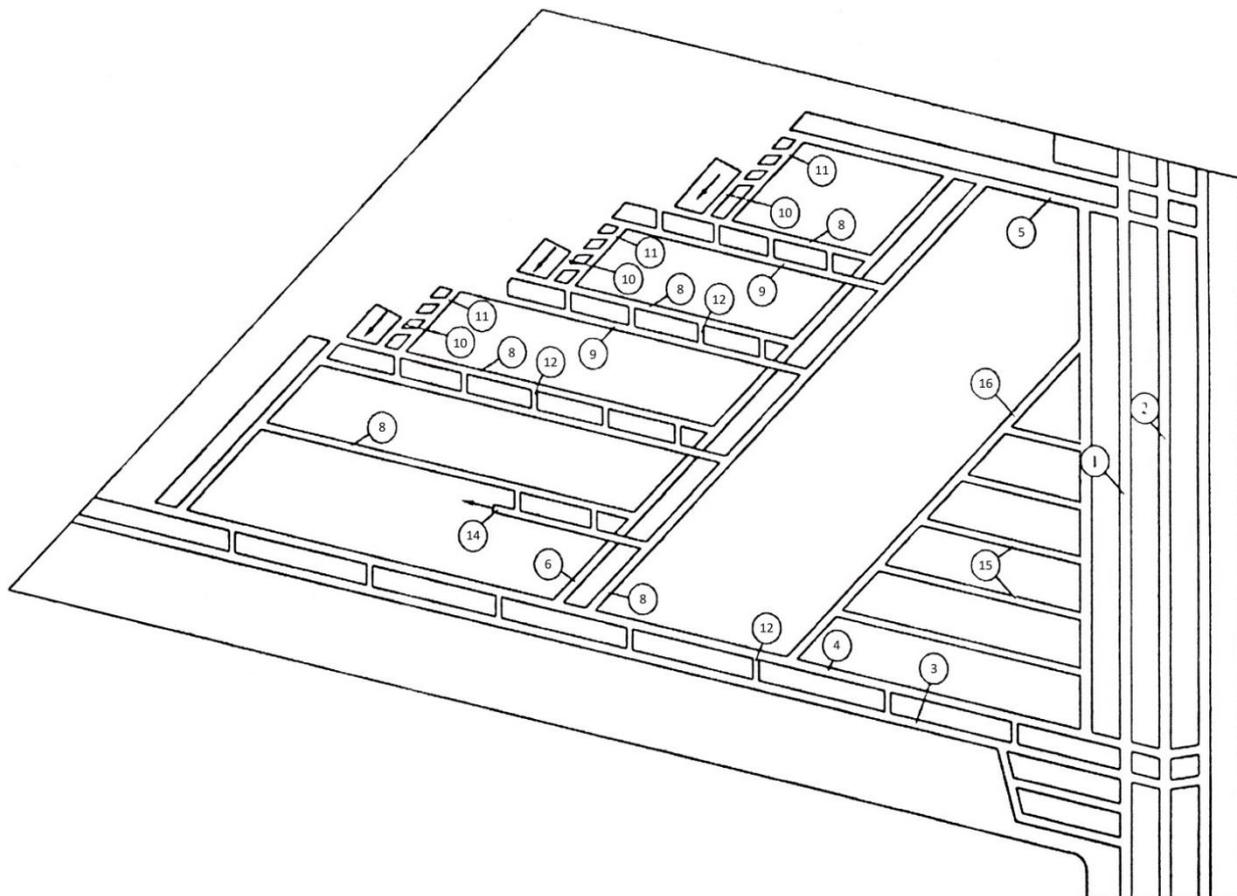
Для геомеханического обеспечения короткозабойных систем подземной разработки склонных к горным ударам мощных угольных пластов, а также опыт управления геомеханическими процессами при отработке угольных пластов длинными забоями, проведено обобщение вариантов короткозабойных систем разработки, апробированных на этих пластах. Установлено, что одним из индикаторов, характерных для высокой вероятности возникновения горного удара, является труднообрушаемая кровля. Исследованию влияния этого фактора в Кузбассе посвящены работы известных учёных и практиков: В.Б. Артемьев, Г. Браунер, 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. Хямяляйнен, 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. Определяющими параметрами труднообрушаемой кровли, влияющими на пространственное положение и величину энергии деформирования пород и угольного пласта, являются мощность и шаг обрушения. Вследствие влияния оставляемых при отработке короткими забоями угольных целиков характер обрушения пород кровли существенно отличается от выявленного при длинными комплексно-механизированными забоями [42, 62, 109].

Системы разработки угольных месторождений короткими забоями широко применялись на ранних стадиях развития угольной промышленности как в России, так и за рубежом. Коротким является очистной забой длиной не более 15 м [56], как выработка, ограниченная по бокам угольным массивом или целиками угля. В период 1950 – 2000 гг. на шахтах России, Украины и Казахстана интенсивно развивались системы разработки с короткими забоями на гидрошахтах [8, 10, 27]. Короткозабойные системы использовались при отработке остаточных запасов угля на участках, имеющих форму и размеры, нетехнологичные для длинных комплексно-механизированных забоев на действующих шахтах [2, 12, 18, 33, 34, 37, 49, 127]. Наиболее распространённый вариант камерно-столбовой системы разработки, применяемой на гидрошахтах, приведён на рис. 1.1.

В конце прошлого века объём добычи угля в коротких забоях на гидрошахтах сократился. Одной из основных причин резкого ограничения области применения коротких очистных забоев в России и за рубежом, стало отсутствие способов и средств предотвращения газодинамических явлений при отработке угольных пластов с труднообрушаемыми кровлями на глубине более 200 м, в том числе в сейсмически активных районах.

Для разработки новых способов и средств отработки короткими забоями склонных к горным ударам угольных пластов с труднообрушаемыми кровлями, залегающих на глубине более 200м, был проведён анализ производственного опыта отработки угольных пластов короткими забоями.



- 1 - путевой бремсберг; 2 - вентиляционный бремсберг; 3 - ярусный аккумулярующий штрек; 4 - ярусный параллельный штрек;  
 5 - вентиляционный штрек; 6 - блоковая пульпопечь; 7 - выемочная пульпопечь; 8 - подъярусный аккумуляторный штрек; 9 - подъярусный вентиляционный штрек; 10 - выемочная печь; 11 - вентиляционная печь;  
 12 - сбойка; 13 - очистной забой; 14 - подготовительный забой; 15 - камера складирования мелкодисперсного шлака; 16 - пульпопускная печь

Рис.1.1. Камерно-столбовая система разработки мощного пласта с гидравлической выемкой угля [77, 79]

Наиболее представительный объём добычи угля короткими забоями накоплен на гидрошахтах Кузбасса и Донбасса [10, 76]. За период 1962 – 1989

гг. добыто на гидрошахтах в коротких забоях в Кузбассе 140,4, а в Донбассе 88,3 млн. т угля (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Основные показатели работы гидрошахт и лучших шахт-аналогов в 1989 г. [76]

Шахта, бассейн	Добыча, млн. т/г.	Производительность труда, т/мес., период 1975-1985 гг.		Эксплуатационные потери угля, %	
		гидрошахта	шахта-аналог	гидрошахта	шахта-аналог
Юбилейная, Кузбасс	1236,9	69,5	86,4	14,2	8,2
Инская №2, Кузбасс	294,3	69,9	103,2	17,5	12,7
Красногорская, Кузбасс	450,6	67,4	53,5	32,9	34,6
Пионер, Донбасс	754,0	44,6	36,0	24,5	24,0

Горные работы на гидрошахтах проводились в широком диапазоне горно-геологических и горнотехнических условий (табл. 1.2).

Таблица 1.2 – Горно-геологические и горнотехнические условия отработки угольных пластов короткими забоями на гидрошахтах в 1989 г. [76]

Бассейн, шахта	Характеристика угольных пластов			Параметры коротких забоев	
	угол падения, градус	мощность, м	глубина горных работ, м	ширина камеры, м	ширина выемочного столба, м
Юбилейная, Кузбасс	до 35	1,20 – 3,50	500	2,5 – 3,0	6 – 15
Инская №2, Кузбасс	7 - 24	1,81 – 7,00	332	2,5 – 4,0	8 - 15
Красногорская, Кузбасс	60 - 75	1,21 – 12,00	326	2,0 – 3,0	до 20
Пионер, Донбасс	12 - 14	0,71 – 1,20	455	2,0 – 2,5	до 15

Как следует из таблиц 1.1 и 1.2 показатели работы гидрошахт до реструктуризации угольной отрасли России были на уровне показателей работы шахт с отработкой угольных пластов по традиционной технологии угледобычи.

Область применения коротких забоев на гидрошахтах характеризуется более широким диапазоном горно-геологических условий по сравнению с областью применения систем разработки с длинными комплексно-механизированными забоями: мощность отрабатываемых пластов 0,71 – 12,00 м, угол падения 7 – 75°.

Полезным для расширения области применения систем разработки короткими забоями может быть следующий обобщённый опыт управления горным давлением на гидрошахтах при отработке участков пластов, отнесённых действующими инструкциями к склонным к горным ударам [2, 42, 43, 81].

1) Ширина отрабатываемого угольного столба соответствует принятому на зарубежных шахтах условию [2]:

$$k_6 = \frac{b}{m} < 5, \quad (1.1)$$

где  $k_6$  – коэффициент устойчивости угольного целика;  $b$  – ширина вынимаемого угольного целика между выработанным пространством и выемочной камерой;  $m$  – мощность пласта.

Согласно [2] при  $k_6 < 5$  уголь в целике не накапливает упругую энергию, что исключает вероятность возникновения горного удара.

2) При гидравлическом разрушении угля часть энергии струи расходуется на динамические деформации массива, что приводит к диссипации упругой энергии, релаксации напряжений и снижению вероятности возникновения горного удара.

Указанные факторы позволили отрабатывать склонные к горным ударам угольные пласты на глубине до 300 м, что существенно больше регламентированной действующей инструкцией глубиной  $H = 140 – 200$  м [9].

За весь период эксплуатации гидрошахт официально зафиксирован горный удар при отработке короткими забоями пласта 26<sup>а</sup> в условиях шахты «Юбилейная» в Кузбассе. Причиной горного удара была зона повышенного горного давления под целиком-штампом на вышележащем пласте 30. На этом же пласте при организации рекордной работы одной из бригад был подготовлен выемочный участок посредством предварительной проходки камер с целью последующей интенсивной механогидравлической выемки угля из междукамерных целиков. При этом произошло массовое разрушение (коллапс) угольных целиков, запасы угля в которых после горного удара были списаны с баланса шахты.

При отработке угольных пластов короткими забоями фактором, определяющим устойчивость пород в кровле камер, являются величины смещений. Влияние ширины камер на устойчивость пород кровли изучали многие исследователи [42, 102]. При отработке пласта сланца на глубине 66-179 м [48] камеры шириной 7-11 м проводились прямым ходом узким сечением и расширялись обратным ходом с креплением кровли анкерами.

Установлена следующая эмпирическая зависимость величин опускания пород кровли от ширины камеры или подготовительной выработки [48] (рис. 1.2):

$$w = ae^{cb}, \quad (1.2)$$

где  $w$  – вертикальные смещения кровли камеры, мм;  $b$  – ширина камеры, м;  $a, c$  – эмпирические коэффициенты,  $a = 0,2892$ ;  $c = 0,4677$ .

Для уравнения (1.2) на рис. 1.2 построен график, который подтверждает, что смещения пород кровли увеличиваются при расширении камеры по экспоненциальной зависимости.

Положительный опыт отработки пластов средней мощности с выемкой угля в камерах и междукамерных целиках проходческими комбайнами и транспортом горной массы конвейерами или самоходными вагонами накоплен в России, США, Австралии, ЮАР [2].

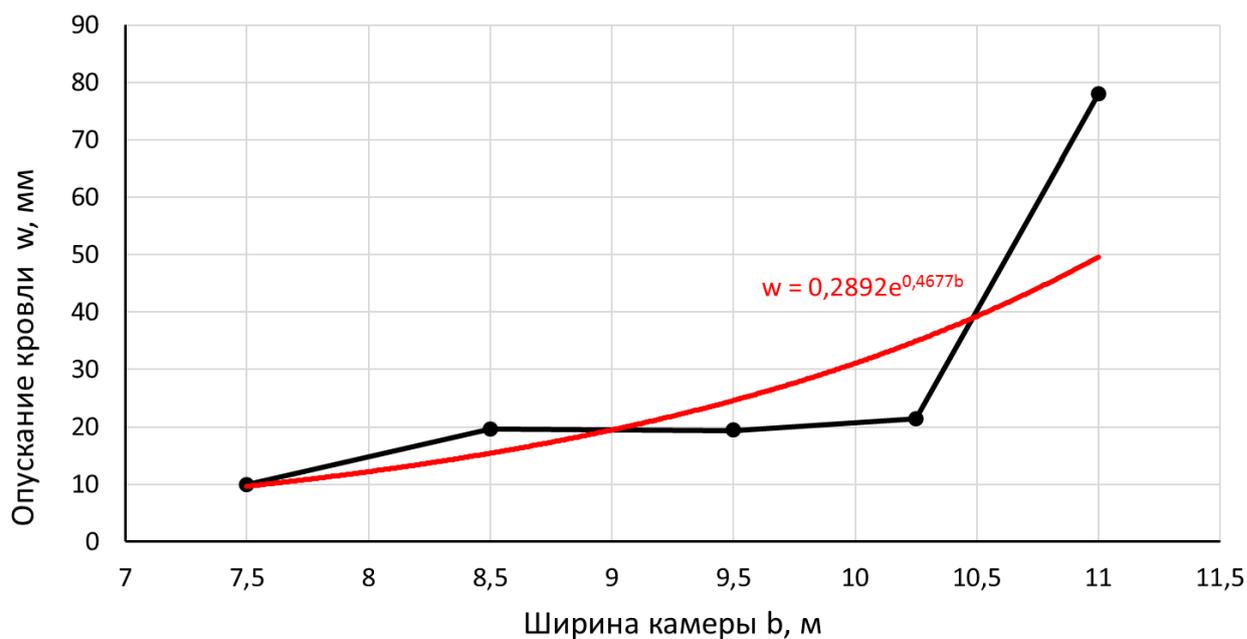


Рис. 1.2 – Опускание ( $w$ , мм) непосредственной кровли в отработанных камерах шириной  $b$ , м [48]

По результатам многолетних исследований [44, 45 и др.] установлено, что при отработке угольных пластов короткими забоями горные удары происходят в 3 раза чаще по сравнению с частотой этих явлений в выемочных столбах, обрабатываемых длинными комплексно-механизированными забоями (рис. 1.3).

Одним из обязательных мероприятий при отработке склонных к горным ударам угольных пластов является проведение оперативного прогноза геомеханической ситуации. В систему мониторинга включены методы и средства сейсмического зондирования и натуральных измерений параметров геомеханических процессов с помощью датчиков давления, деформометров, контурных и глубинных реперов, микросейсмических датчиков [89].

Возможность отработки мощных пологих пластов Томь-Усинского угольного месторождения системами разработки с короткими забоями подтверждена ещё в 1964 году авторитетными учёными и практиками [23]: П.В. Егоровым, Н.И. Линденау, А.П. Судоплатовым, Т.Ф. Горбачевым, Л.Д. Шевяковым.

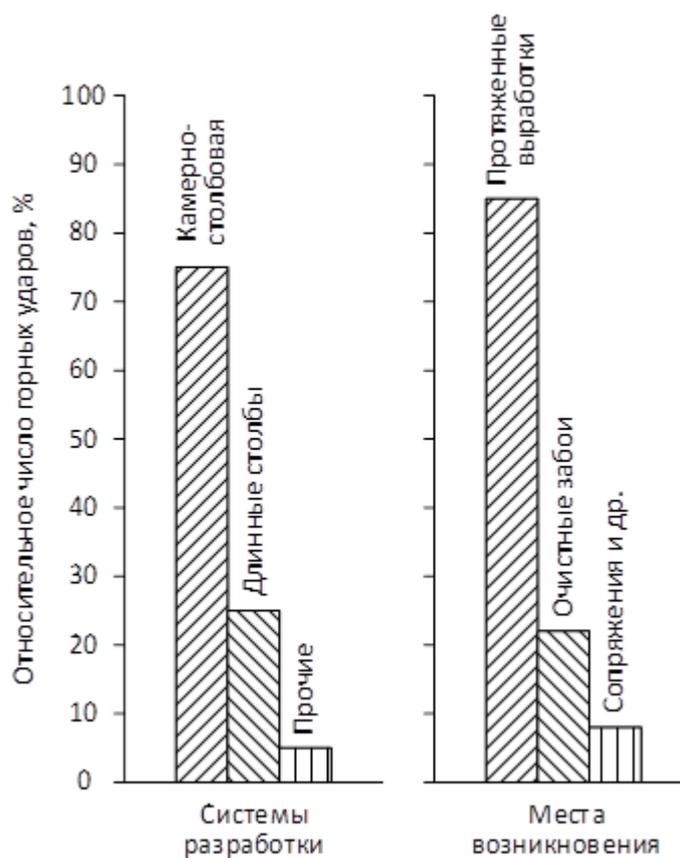


Рис. 1.3 – Распределение случаев горных ударов по системам разработки и местам возникновения [2]

Наиболее эффективной системой разработки мощных пластов короткими забоями в период 60-70 годов прошлого столетия оказался вариант с применением гидравлического способа [8, 10, 27]. В условиях Томь-Усинского месторождения при отработке мощных пластов III и IV-V различными вариантами систем разработки с короткими забоями с применением взрывного разрыхления угля и гидротранспортом горной массы получена производительность труда рабочего по участку 5,0 – 9,8 т в смену при потерях угля 29 – 43 % [8].

Выявлены следующие основные факторы, влияющие на очаги и интенсивность горных ударов при отработке угольных пластов камерно-столбовой системой разработки [2, 43 - 45]:

– уступная форма границ коротких очистных забоев, на выступающих краевых участках пластов которых за счёт наложения веса смежных плит и

консолей подработанных пород кровли возникают концентрации напряжений, превышающие предел упругости угольного пласта;

- наличие угольных целиков на отрабатываемом и соседних пластах свиты, что приводит к возникновению локальных концентраторов потенциальной энергии упругого сжатия в отрабатываемом пласте;

- труднообрушаемая кровля угольных пластов, способная накапливать потенциальную энергию с переходом в определённой ситуации в кинетическую и разрушать угольный пласт в форме горного удара (горные удары кровли). Импульс разрушения пород кровли может одновременно распространяться на большую область, в том числе на соседних пластах и выемочных участках, что приводит к «эффекту домино» с массовым разрушением целиков и краевых участков угольных пластов, особенно на сопряжениях выработок [2];

- неравномерное распределение горизонтальных напряжений в нетронутом геомассиве и превышение их по некоторым направлениям в 2 -3 раза вертикальных гравитационных сил, что приводит к разной вероятности возникновения горных ударов в ленточных целиках, ориентированных относительно вектора главных горизонтальных напряжений в пространстве горных отводов шахт;

- наличие в нетронутом геомассиве полей неравномерных геотектонических напряжений, величина и направление векторов которых связаны с блочной структурой и активными разломами земной коры.

Таким образом, результаты анализа производственного опыта подземной разработки склонных к горным ударам тонких и средней мощности угольных пластов короткими очистными забоями подтверждают, что в благоприятных горно-геологических условиях с соблюдением профилактических мероприятий и оперативного мониторинга возможна безопасная и эффективная отработка угольных пластов. Однако, для геомеханического обеспечения высокоинтенсивных технологий отработки склонных к горным ударам угольных пластов короткими забоями, в условиях,

не регламентированных действующими нормативными документами, необходимо проведение дополнительных исследований.

### **1.3 Анализ направлений научных исследований геомеханического обоснования короткозабойных систем подземной разработки склонных к горным ударам угольных пластов**

Научные исследования, направленные на разработку технологии отработки склонных к горным ударам мощных угольных пластов, а также мероприятий, обеспечивающих приведение угольных пластов во внеудароопасное состояние, осуществляются в течение последних 80 лет после отмеченных в 40 годы прошлого века динамических форм проявления горного давления на шахтах Кизеловского бассейна [74]. На шахтах и рудниках Индии, ЮАР, США, Канады эти явления зафиксированы более 100 лет назад. Серьёзные исследования природы горных ударов начались после того, когда возникли катастрофические явления на шахтах Кизеловского, Донецкого, Сучанского, Кузнецкого бассейнов.

Основные направления исследований процессов формирования упругой энергии и мгновенного её высвобождения в виде быстропротекающего разрушения части горного массива были обоснованы во ВНИМИ и интенсивно проводились многими учёными и практиками [2,5,7,9,12,18,28,42,43, 47,54,57,58, 67,73, 129 и др.].

Основные результаты исследований следующие:

1) Вероятность возникновения горного удара повышается при изменении следующих факторов и параметров: увеличении глубины разработки, наличие в породах кровли и почвы мощных прочных пород песчаников, склонности угля в краевой части пласта к хрупкому разрушению, отсутствие в непосредственной кровле слабых пластических породных слоёв, неравномерное геотектоническое поле напряжений.

2) Основными индикаторами склонности угольных пластов к горным ударам являются коэффициенты удароопасности и интенсивности разрушения угольного пласта. Коэффициент удароопасности определяется по отношению упругой деформации к полной на восходящей допредельной линии диаграммы напряжение-деформация, получаемой при натуральных испытаниях краевой части пласта, а коэффициент интенсивности разрушения как - отношение площади упругого деформирования к полному на запредельном участке диаграммы.

3) Вероятность одновременного проявления на некоторых угольных пластах горных ударов и внезапных выбросов угля и газа при определённых сочетаниях фазово-физических свойств угля.

Эти результаты исследований внесены в действующие нормативные документы и широко применяются на шахтах России.

В настоящее время управление процессами периодического обрушения пород кровли смежных выемочных участков при отработке свиты угольных пластов длинными комплексно-механизированными забоями почти не проводится, так как отсутствуют надёжные методы прогноза локальных концентраторов упругой энергии [38, 124]. Поэтому по рекомендациям нормативных документов ВНИМИ, НЦ ВостНИИ осуществляется реализация профилактических мероприятий для снижения концентрации потенциальной упругой энергии деформирования в пределах всего отрабатываемого выемочного столба. Для снижения концентрации потенциальной упругой энергии деформирования пород применяются следующие мероприятия и технологические решения [24, 25]:

- ограничение скорости подвигания забоев для релаксации напряжений и диссипации потенциальной упругой энергии;
- направленный гидроразрыв;
- гидродинамическая стратификация;
- передовое торпедирование;
- камуфлетное взрывание;

- гидромикроторпедирование;
- взрывогидрообработка;
- гидрорыхление;
- принудительное обрушение взрыванием скважинных и шпуровых зарядов основной кровли при зависании её на больших площадях;
- закладка выработанного пространства породами;
- изменение ширины угольных целиков;
- сокращение количества подготовительных выработок впереди очистных забоев;
- изменение последовательности отработки пластов в свите и др.

Однако, 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 [106].

Следует выделить в рамках многофункциональной системы безопасности следующий перечень основных региональных, локальных и комбинированных противоударных профилактических и организационных мероприятий при отработке склонных к горным ударам угольных пластов, в том числе мощных [4, 6, 7, 9, 20, 38]:

- геодинамическое районирование в пределах горного отвода угледобывающего предприятия;
- прогноз удароопасности шахтных полей и участков угольных пластов;
- мониторинг эффективности противоударных мероприятий;
- приведение участков углепородного массива и горных выработок в неудароопасное состояние;
- обеспечение безопасности работ при проведении противоударных мероприятий.

Указанные профилактические и организационные мероприятия вносятся в проектную документацию и реализуются в процессе ведения горных работ. Опыт применения этих мероприятий подтверждает, что хотя они соответствуют требованиям Инструкции [9], однако не всегда являются эффективными, а иногда оказываются избыточными.

По утверждению коллектива авторов монографии [2] надёжность прогноза горных ударов не превышает 50%. Это подтверждается практикой ведения горных работ и результатами успешного или неэффективного применения профилактических мероприятий (табл. 1.3).

Таблица 1.3 - Анализ эффективности профилактических противоударных мероприятий и технологических решений

№ п/п	Адрес мероприятия	Сущность мероприятия	Эффективность мероприятия	Источник информации
1	Кузбасс, шахта «Есаульская», пласт 26 <sup>а</sup>	Направленный гидроразрыв кровли	Безаварийное первичное обрушение пород кровли	[26]
2	Воркута, шахта «Юр-Шор», пласт Мощный	Гидромикроторпедирование, гидрорыхление, разгрузка скважинами	Низкая эффективность, горные удары произошли даже во время проведения мероприятий	[2]
3	Кузбасс, шахта «Усинская», пласт III	Мероприятия не проводились	Горный удар кровли	[2]
4	Кузбасс, шахта «Алардинская» пласт 3-3А	Разгрузка скважинами	Горный удар в целике между встречными лавами	[80]

Например, применение метода оперативного мониторинга и прогноза геомеханического состояния очистного забоя угольной шахты с использованием системы управления Марко «Цифровая шахта» не всегда

подтверждает соответствие прогнозируемых предвестников горных ударов реальной статистике газодинамических явлений в выемочном участке [19, 55]. Анализ графиков распределения предвестников горных ударов по динамике конвергенции секций крепи показал, что наиболее вероятной причиной повышения концентрации напряжений в угольном пласте впереди очистного забоя является вес подработанных в очистном забое породных слоёв при периодическом их зависании перед очередным циклом обрушения.

Для профилактики проявлений горных ударов в подготовительных забоях проводятся следующие специальные мероприятия: мониторинг напряжённо-деформированного состояния угольного массива сейсмическими методами или выбуриванием угольной мелочи, разгрузка углепородного массива щелями или скважинами, нагнетание жидкости в пласт и др. [9]. В статье [60] предлагается эффективность разгрузочных щелей оценивать по результатам численного моделирования методом конечных элементов.

Оригинальный вариант методики прогноза ситуаций, опасных по проявлению горных ударов, предложен в работах [18, 69, 71]. Сущность методики состоит в создании и реализации компьютерной программы, по которой на основе статистических исходных данных осуществляется прогноз вероятности возникновения горного удара. В качестве исходных данных используются показатели, характеризующие свойства горных пород, напряжённо-деформированное состояние геомассива, технологические параметры. По результатам прогноза интенсивности газодинамических явлений осуществляется классификация и районирование выемочных участков и шахтных полей. Однако для реализации методики требуется большой объём статистического материала.

Эффективность применения методик [18, 69, 122, 128] зависит от достоверности исходной информации. Оценка достоверности ширины пластической зоны, коэффициента концентрации вертикальных напряжений, расстояния до максимума эпюры опорного горного давления в краевой части угольного пласта в настоящее время представляет определённые

методические и технические сложности, так как эти параметры в реальных условиях изменяются в зависимости от прочностных и деформационных свойств угля, пород и технологических процессов.

Однако методический подход оценки вероятности и рисков возникновения газодинамических явлений можно использовать при экспертном прогнозе, например, методами ситуационного импульсного когнитивного моделирования [39].

Возможность использования производственного опыта отработки пластов длинными комплексно-механизированными забоями и полученных результатов теоретических исследований для отработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных пластов, ограничено многими требованиями Инструкции [9], в том числе:

- запрещается применение камерной и камерно-столбовой систем разработок;
- ширина целика между параллельными выработками должна быть более  $0,5l$ , где  $l$  – ширина зоны опорного давления;
- запрещается отработка выемочных панелей или блоков встречными или догоняющими забоями;

В результатах научных исследований, выполненных под руководством Ф.П. Бублика [42], установлены зависимости параметров систем разработки с короткими забоями от основных горно-геологических и горнотехнических условий. В частности, предложено применение камерно-столбовой системы разработки с барьерными целиками или ленточными целиками [42, 59, 124].

В 90 –е годы прошлого столетия начались интенсивные исследования влияния горизонтальных напряжений, превышающих вертикальные, на устойчивость пород в окрестности очистных и подготовительных выработок начались. Необходимость таких исследований возникла в процессе работы комиссий по расследованию крупных аварий на угольных шахтах: «Усинская», «Тайжина», «Юбилейная», «Распадская» и др. в Кузбассе [11]. В большинстве случаев комиссии не выявили нарушения требований

нормативных документов и указали основной причиной аварии влияние природного или человеческого факторов.

Следствием влияния природных факторов на угольных шахтах являются внезапные обрушения подработанных горных пород на больших площадях, массовое разрушение угольных целиков («коллапс»), нарушение устойчивости блочной структуры геомассива и прорыв флюидов границам блоков и линеаментам при отработке свиты угольных пластов и др. Отсутствие надёжных методов прогноза указанных явлений подтверждают недостаточную изученность физических закономерностей взаимодействия природных и техногенных полей напряжений в геомассиве [12 - 14].

Многие авторы в качестве основной причины горных ударов рассматривают геодинамическое состояние углепородного массива. В работах [15, 16] отмечается существенное влияние природных напряжений в блочном геомассиве на формирование очагов потенциальной упругой энергии деформирования как при медленных геотектонических явлениях, так и при техногенном воздействии на массив горных пород.

Согласно результатам исследований [16] характер проявления динамических явлений зависит от взаимного влияния многих факторов, среди которых основными являются процессы накопления потенциальной энергии и скорости её сброса. После сброса энергии геомассив возвращается в начальное состояние, то есть доказано наличие в природе циклического волнообразного характера подготовки и проявления горных ударов. Установлено, что при подземной разработке рудных месторождений процесс накопления упругой энергии может длиться в течение нескольких лет [16, 54].

В соответствии с результатами теоретических исследований и численного моделирования кинематической модели приливного деформирования и распределения энергии в сыпучей блочной среде в окрестности выработки эллиптической формы авторы работы [17] утверждают, что приливные потоки энергии приводят к деформированию пород. На основе этой закономерности можно прогнозировать

перераспределение упругой энергии в геомассиве при формировании концентраторов упругой энергии, как предвестника горного удара.

По результатам многолетних натурных и аналитических исследований процессов накопления упругой потенциальной энергии и внезапного перехода её в кинетическую выявлены общие причины возникновения горных ударов и внезапных выбросов угля и породы. Это подтверждается результатами анализа последствий газодинамических явлений и расследования причин крупных аварий на отечественных и зарубежных угольных шахтах [2, 14, 52, 53].

В процессе исследований причин возникновения горных ударов выявляются новые закономерности формирования концентраторов напряжений. Например, в работах В.П. Дудукалова, В.М. Серякова доказано [70, 125], что реологические процессы деформирования надрабатываемых пород приводят к прогрессирующему увеличению опорного горного давления. Так как реологические процессы в горном массиве происходят по времени медленно, то накопление потенциальной энергии и её преобразование в кинетическую происходит внезапно, особенно при циклическом перемещении линии очистного забоя.

Для выявления влияния упругой энергии в геодинамическом поле напряжений на напряжённно-деформированное состояние геомассива в окрестности коротких забоев необходимо проведение дополнительных исследований, что составляет одну из научных задач в настоящей работе.

В связи с широким применением анкерной крепи [72] на угольных шахтах заслуживают внимания исследования геомеханического состояния угольных пластов и вмещающих пород в окрестности камер и коротких очистных забоев, закреплённых анкерами. Для этого необходимо провести комплексные исследования проявления горного давления и удароопасности в выработках, закреплённых анкерной крепью, на пластах, склонных к горным ударам, в условиях шахт Кузнецкого угольного бассейна. Целью этих исследований является оценка в натурных условиях и по результатам расчёта

влияния анкерной крепи на изменение удароопасности угольного массива, а также оценка состояния выработок, пройденных на мощных пластах, опасных по горным ударам и закрепленных анкерной крепью.

#### **1.4 Актуальность, цель и задачи совершенствования способов и средств геомеханического обоснования параметров систем разработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов**

Изложенные в параграфах 1.1 – 1.3 результаты анализа достижений науки и практики, посвящённых развитию традиционных и созданию новых способов и средств разработки склонных к горным ударам мощных угольных пластов, подтверждают актуальность и перспективность направлений научных исследований геомеханических процессов.

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.

Основные научные задачи и ожидаемые результаты их решения систематизированы в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Направления научных исследований для геомеханического обоснования систем разработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов [2, 5 – 7, 38]

№	Направления и задачи исследований	Ожидаемые теоретические и практические результаты исследований
1	Разработать метод прогноза потенциальной удароопасности отрабатываемого короткими забоями угольного пласта с учетом реальной горнотехнической ситуации.	Метод прогноза потенциальной удароопасности угольного пласта 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 междукамерных целиках.
2	Выявить закономерности изменения напряженного состояния массива горных пород при камерно-столбовой и камерной системах разработки склонных к горным ударам мощных угольных пластов.	Закономерности изменения напряженного состояния массива горных пород при камерной системе разработки по сравнению с камерно-столбовой.
3	Выполнить геомеханическое обоснование параметров систем разработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов.	Геомеханическое обоснование параметров технологии разработки короткими забоями с учётом формы и размеров выемочных участков, устойчивости пород кровли в камерах и на сопряжении выработок.

## **ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОГНОЗА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УДАРООПАСНОСТИ ОТРАБАТЫВАЕМОГО УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЯ В МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКАХ И КРАЕВЫХ УЧАСТКАХ МОЩНОГО ПЛАСТА**

Разработана метод количественной оценки параметров короткозабойной технологии отработки угольного пласта с использованием комплексного показателя удароопасности. По результатам вычислительных и шахтных экспериментов обоснованы критерии количественной оценки напряженного и удароопасного состояния угольного пласта. По результатам исследований определяются следующие параметры напряженного состояния массива горных пород: полный вектор напряжений, комплексный показатель удароопасности, размеры зон разгрузки и категории опасности по горным ударам угля в боках штреков и выемочных камер.

### **2.1 Разработка метода количественной оценки напряженного и удароопасного состояния массива горных пород при отработке склонного к горным ударам мощного угольного пласта короткими забоями**

Для выявления закономерностей распределения параметров напряженного состояния массива горных пород при отработке мощных пологих угольных пластов короткими забоями проведены вычислительные эксперименты с применением пакета проблемно-ориентированных программ, разработанного в СибГИУ [90, 111], адаптированного к горно-геологическим условиям залегания мощных пологих пластов и пространственному расположению камер и угольных целиков.

Пакет проблемно-ориентированных программ, реализованный на основе метода конечных элементов, обеспечивает решение следующих задач в двух- или трехмерной постановке:

– расчёт параметров напряжённо-деформированного состояния углепородного массива в окрестности системы взаимодействующих камер, угольных целиков и заходок: вертикальные и горизонтальные смещения, деформации, напряжения, коэффициенты концентрации напряжений, комплексный параметр удароопасности в плоском вертикальном сечении по длине выемочного участка;

– определение зон распределения концентраторов вертикальных напряжений в обрабатываемом угольном пласте с учётом пространственного расположения подготовительных и очистных выработок. В алгоритм расчёта заложен метод функции единичного влияния гравитационных сил на угольный пласт.

Обобщенная структура пакета программ, адаптированного к условиям отработки короткими забоями склонного к горным ударам мощного угольного пласта, представлена на рис. 2.1.

Для моделирования геомеханических процессов при короткозабойной отработке мощного угольного пласта в качестве исходных использовались следующие данные.

1) Технология отработки короткими забоями склонного к горным ударам мощного пласта III, выемочные блоки КСО 1-1 и КСО 1-2, шахта ЗАО «Распадская-Коксовая». Схема расположения горных выработок блоков КСО 1-1 и КСО 1-2 представлена на рис. 2.2.

2) Параметры породных слоёв и угольных пластов по литологической колонке геологоразведочной скважины №3270 шахта ЗАО «Распадская-Коксовая» (рис. 2.3).

Участие автора настоящей работы в процессе исследований напряженного состояния массива горных пород заключалось в разработке вариантов технологических схем отработки выемочного участка короткими забоями, подготовке исходных данных, анализе и обобщении результатов моделирования, выявлении закономерностей распределения параметров напряженного состояния массива горных пород, проведении натурных

наблюдений и оценке соответствия результатов шахтного эксперимента и численного моделирования.

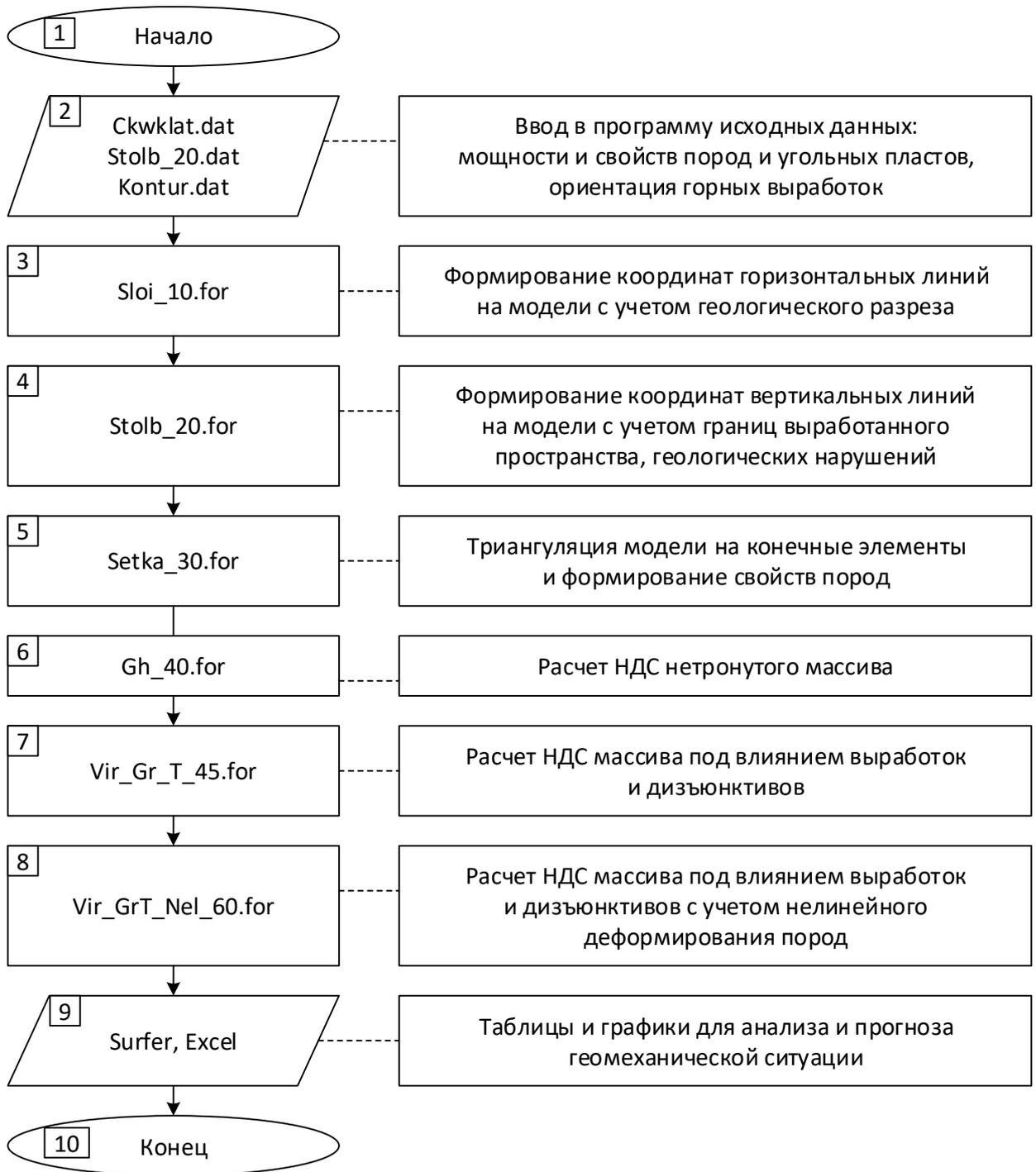


Рис. 2.1. Обобщенная схема пакета проблемно-ориентированных программ для расчёта параметров напряжённого состояния массива горных пород

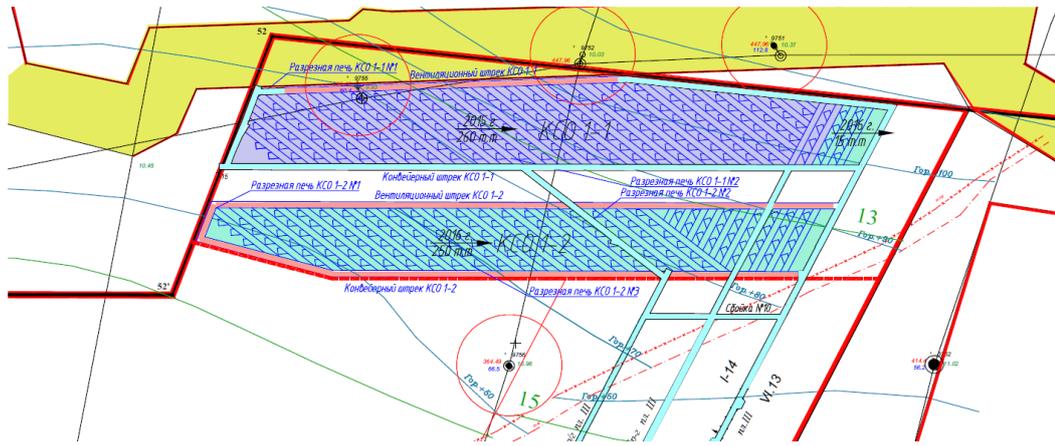


Рис. 2.2. Схема отработки пласта III короткими забоями, выемочные блоки КСО 1-1 и КСО 1-2, шахта ЗАО «Распадская-Коксовая»

В процессе моделирования напряжённого состояния массива горных пород на выемочных участках пласта III определялись следующие параметры:

$\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  – главные максимальные и минимальные напряжения; принято следующее правило знаков напряжений:  $\sigma_1 < 0$ ,  $\sigma_3 < 0$  – сжимающие напряжения в породах;  $\sigma_1 > 0$ ,  $\sigma_3 > 0$  – растягивающие напряжения в породах;

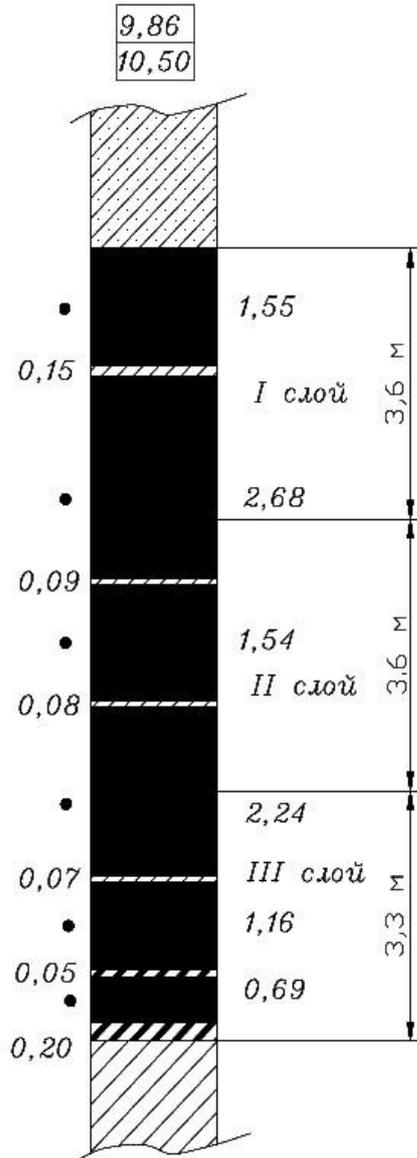
$\tau$  – касательные напряжения;

$\sigma_y$  – вертикальные напряжения, МПа; принято следующее правило знаков напряжений:  $\sigma_y < 0$  – вертикальные сжимающие напряжения в породах;  $\sigma_y > 0$  – вертикальные растягивающие напряжения в породах;

$\sigma_x$  – горизонтальные напряжения, МПа; принято следующее правило знаков напряжений:  $\sigma_x < 0$  – горизонтальные сжимающие напряжения в породах;  $\sigma_x > 0$  – горизонтальные растягивающие напряжения в породах;

$\eta$  – вертикальные смещения углепородного массива, мм; принято следующее правило знаков вертикальных смещений:  $\eta < 0$  – вертикальные оседания пород относительно начального положения в нетронутом массиве;  $\eta > 0$  – вертикальные поднятия (пучение) пород относительно начального положения в нетронутом массиве;

а)



б)

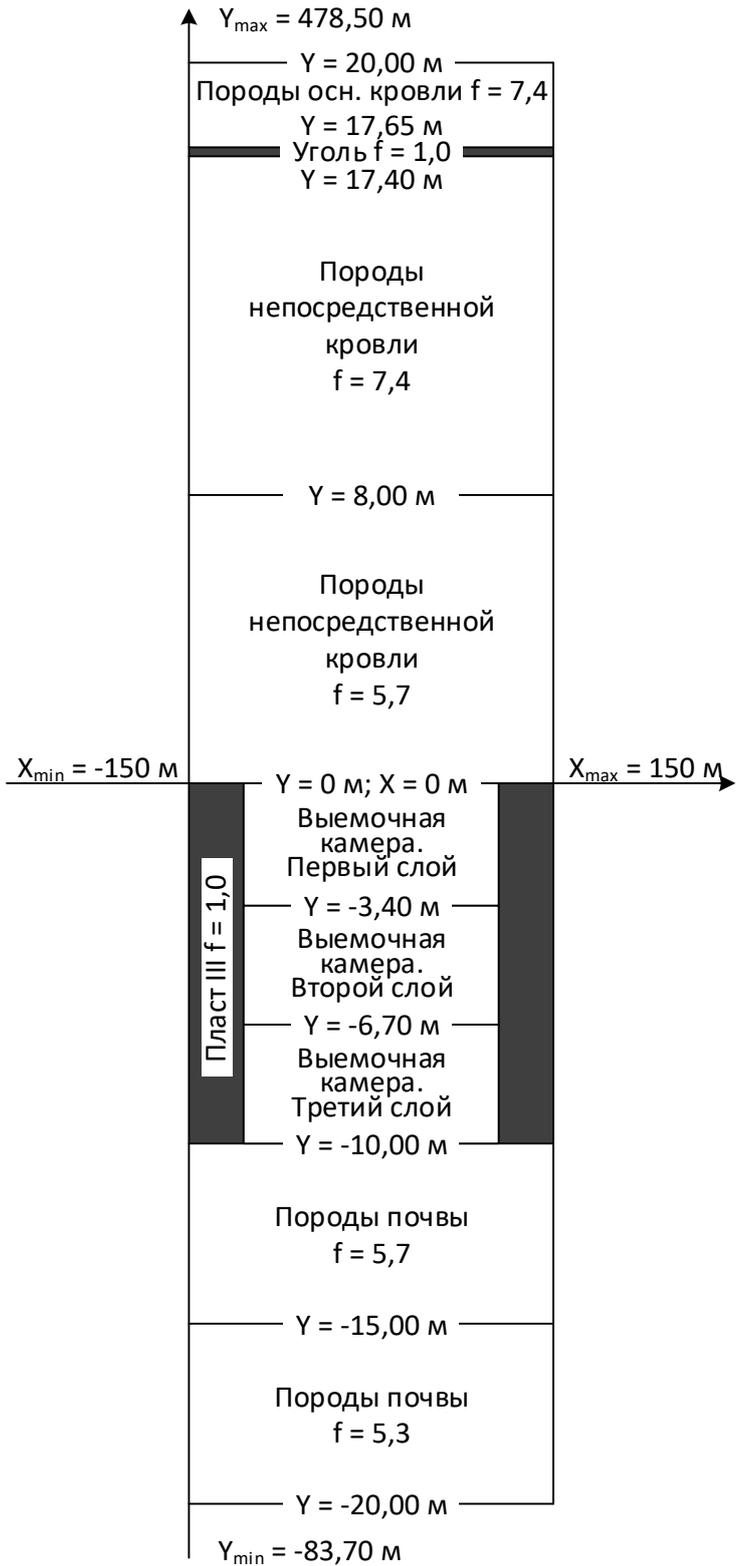


Рис. 2.3. Литологическая колонка по геологоразведочной скважине №3270, шахта ЗАО «Распадская-Коксовая» (а); структурная колонка пласта III и вмещающих пород в расчётной модели с учетом выделения отработываемых слоёв (б)

$\xi$  – горизонтальные смещения углепородного массива, мм; принято следующее правило знаков горизонтальных смещений:  $\xi < 0$  – горизонтальные смещения пород в отрицательном направлении оси абсцисс относительно начального положения в нетронутом массиве;  $\xi > 0$  – горизонтальные смещения пород в положительном направлении оси абсцисс (смещения вправо на рисунках) относительно начального положения в нетронутом массиве;

$E_{\phi}$  - энергия формоизменения, т·м;

$K_v$  - коэффициент концентрации вертикальных напряжений;

$K_y$  – комплексный показатель удароопасности угольного пласта.

Так как комплексный показатель удароопасности угольного пласта является основным при оценке устойчивости угольных целиков между камерами, то разработан вариант его определения по паспорту прочности угля и пород, выходу буровой мелочи и показателю напряжённости  $F$ , измеряемого с помощью геофизической аппаратуры АЭШ-1 ВНИМИ [89].

Научные основы построения и использования паспорта прочности материалов, в том числе горных пород, разработаны Мором, Кулоном и развиты для условий упругопластического деформирования пород в работах отечественных учёных [91, 92, 120 - 122]. Параметры паспорта установлены в соответствии с теорией прочности Кулона-Мора [рис. 2.4]. В горной науке и практике для описания уравнения огибающей кругов напряжений применяются линейные или параболические зависимости [44, 45, 91, 92, 120]. Существенный вклад в развитие теории прочности горных пород внесли Г.Г. Штумпф, В.А. Гоголин, [92, 125].

Параболическую зависимость огибающей предельных кругов Мора согласно [44] можно представить в виде:

$$\tau = \left\{ (\sigma_p - \sigma) \left[ 2\sigma_p - 2\sqrt{\sigma_p(\sigma_p - \sigma_{сж})} + \sigma_{сж} \right] \right\}^{0,5}, \quad (2.1)$$

а линейную:

$$\tau = C + \sigma \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.2)$$

где  $\tau$ ,  $\sigma$  – касательные и нормальные напряжения в породном слое или угольном пласте;  $\sigma_{сж}$ ,  $\sigma_p$  – пределы прочности угля или породы при сжатии и растяжении соответственно;  $C$  – сцепление угля или породы при сдвиге;  $\varphi$  – угол внутреннего трения.

Величины  $\sigma_{сж}$ ,  $\sigma_p$ ,  $C$ ,  $\varphi$ , принятые согласно данным геологических отчётов по Томь-Усинскому угольному месторождению, а также справочнику [92], приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 Свойства угля и вмещающих пород пласта III ЗАО «Распадская-Коксовая»

Характеристика породы	$\sigma_{сж}$ , МПа	$\sigma_p$ , МПа	$C$ , МПа	$\varphi$ , градус	$*E \cdot 10^{-4}$ , МПа	$*\nu$
Уголь	10,0	1,4	3,2	40	0,3	0,25
Непосредственная кровля, алевролит крупнозернистый	57,0	5,8	16,1	42	1,4	0,21
Основная кровля, песчаник среднезернистый	74,2	7,1	18,8	44	1,6	0,22
Почва, алевролит крупнозернистый	55,9	5,8	12,2	39	1,2	0,23

\*  $E$  – модуль упругости;  $\nu$  – коэффициент Пуассона

В общем виде паспорт прочности угля и вмещающих пород пласта III при параболической и линейной зависимостях (2.1) и (2.2) огибающей кругов предельных напряжений представлен на рис. 2.4.

При линейной форме огибающей предельных кругов Мора в зоне растяжения (слева от вертикальной оси  $\tau$  на рис. 2.4) точка пересечения наклонной прямой линии и горизонтальной оси  $\sigma$  существенно удалена от предельного круга при растяжении, то есть в зоне растяжения угля погрешность определения параметров напряженного состояния массива горных пород будет существенной [45]. Учитывая, что на контуре междукамерных целиков отжим угля происходит, как правило, при

растягивающих напряжениях, то для дальнейших исследований, с целью повышения точности прогноза ширины зоны отжима, принята параболическая зависимость огибающей кругов напряжений (2.1).

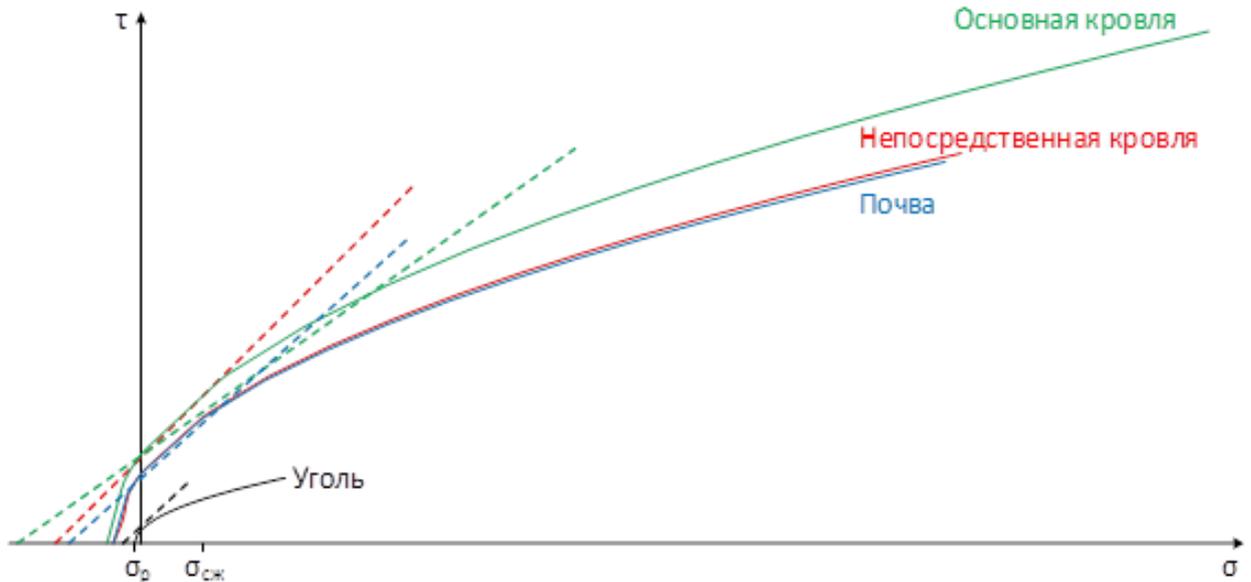


Рис. 2.4. Паспорт прочности угля и вмещающих пород пласта III при параболической (сплошные линии) и линейной (пунктирные линии) зависимостях

Возможность формирования зоны предразрушения или специального предельного состояния пород при их деформировании доказана в работах Г.Н. Кузнецова [121], Г.Л. Фисенко [45], Е.И. Шемякина [131, 132] и подтверждена в одной из последних статей Н.В. Черданцева [122]. Для построения огибающей предельных кругов упругого деформирования пород используется зависимость (2.1) при замене предела прочности при сжатии или растяжении угля или пород величинами  $\sigma_{сж} \rightarrow 0,01K\sigma_{сж}$ ;  $\sigma_p \rightarrow 0,01K\sigma_p$ , где  $K$  – коэффициент удароопасности, % [133].

Для каждого участка массива горных пород с использованием реального плана горных выработок или проектной документации методом конечных элементов определяются параметры напряжённого состояния для упругого массива горных пород, в том числе упругие главные максимальные  $\sigma_1$  и минимальные  $\sigma_3$  напряжения. Величины напряжений откладываются в

масштабе на рис. 2.5 по горизонтальной оси напряжений  $\sigma$ . Следует соблюдать правило знаков, принятое на паспорте прочности на рисунках 2.4 и 2.5: сжимающие напряжения  $\sigma > 0$ , растягивающие  $\sigma < 0$ , то есть на паспорте прочности показаны знаки напряжений обратные по сравнению со знаками напряжений, вычисленных методом конечных элементов.

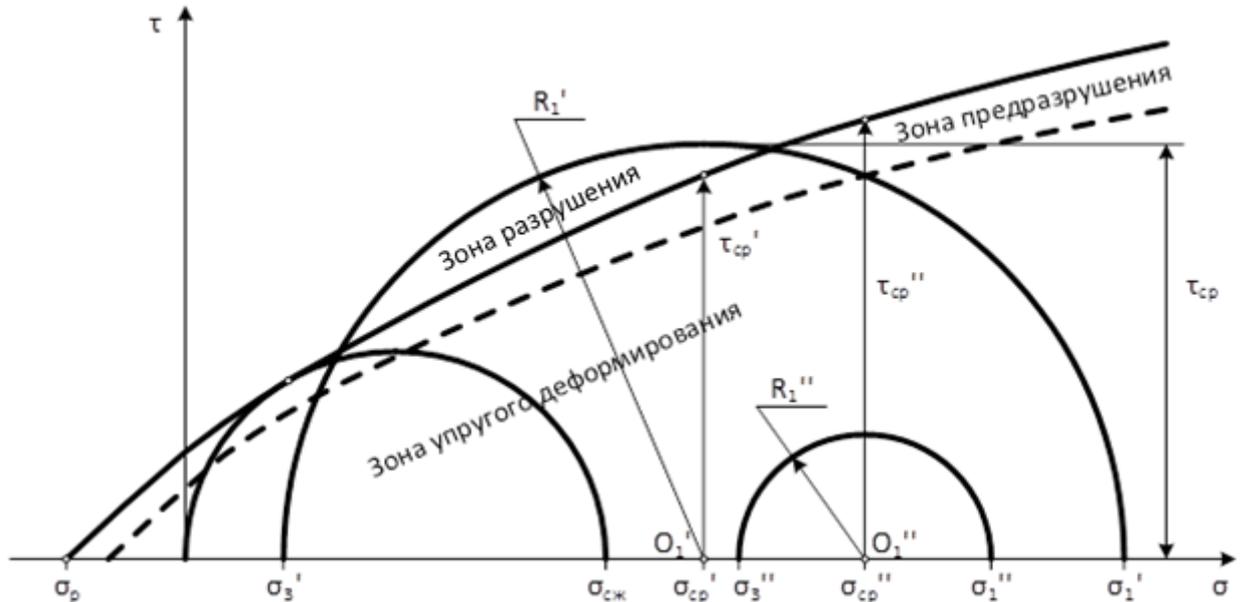


Рис. 2.5. Схема определения комплексного показателя удароопасности по паспорту прочности пород

Расстояние между главными напряжениями  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  (на рис. 2.5  $\sigma_1'$  и  $\sigma_3'$  или  $\sigma_1''$  и  $\sigma_3''$ ) горизонтальной оси паспорта прочности делится пополам и из полученной средней точки  $O$  (на рис. 2.5  $O_1'$  и  $O_1''$ ) проводится круг Мора радиусом  $R$  (на рис. 2.5  $R_1'$  и  $R_1''$ )

$$R = 0,5(\sigma_1 - \sigma_3). \quad (2.3)$$

Вычисляется среднее значение напряжений  $\sigma_{ср}$

$$\sigma_{ср} = 0,5(\sigma_1 + \sigma_3). \quad (2.4)$$

По формуле (2.1), подставляя вместо  $\sigma$  среднее значение напряжения  $\sigma_{ср}$ , вычисляется предельное касательное напряжение  $\tau_{пред}$  согласно паспорту прочности пород (рис. 2.5):

$$\tau_{\text{пред}} = \left\{ (\sigma_p - \sigma_{\text{ср}}) \left[ 2\sigma_p - 2\sqrt{\sigma_p (\sigma_p - \sigma_{\text{сж}})} + \sigma_{\text{сж}} \right] \right\}^{0,5}. \quad (2.5)$$

Тогда комплексный показатель удароопасности, учитывающий природные свойства и напряженное состояние угольного пласта, определяется по формуле:

$$K_y = 0,01 K \frac{\tau_{\text{пред}}}{\tau_{\text{мкэ}}}, \quad (2.6)$$

где  $\tau_{\text{пред}}$  – предельные касательные напряжения, определяемые по паспорту прочности пород Кулона-Мора;  $\tau_{\text{мкэ}}$  – касательные напряжения, полученные по результатам численного моделирования.

Значение коэффициента удароопасности принимается согласно Инструкции [133] или по результатам натурных или лабораторных исследований в диапазоне 60-90% [47]. Для угольных пластов Кузбасса согласно последней инструкции [133] коэффициент удароопасности рекомендуется принимать  $K=85\%$ .

При анализе расположения окружности, построенной по вычисленному по формуле (2.3) радиусу  $R$ , и огибающей предельной кругов Мора на паспорте прочности (рис. 2.5) возможны следующие критерии для оценки напряженного и удароопасного состояния угольного пласта на основе комплексного показателя удароопасности.

**Вариант I.** Окружность расположена ниже огибающей предельной кругов напряжений (упругое состояние). Комплексный показатель удароопасности принимает значения  $K_y > 1,0$ , что соответствует высокому уровню нормальных напряжений и категории ОПАСНО.

**Вариант II.** Окружность расположена между огибающей предельной кругов напряжений и огибающей, удовлетворяющей условию специального предельного равновесия (упруго-пластическое состояние). Комплексный показатель удароопасности изменяется в пределах  $K < K_y \leq 1,0$ , что соответствует пограничному уровню нормальных напряжений и переходу от категории НЕОПАСНО к категории ОПАСНО.

**Вариант III.** Окружность касается огибающей предельных кругов напряжений (предельное состояние). Комплексный показатель удароопасности с учетом глубины разработки  $H$  и объемного веса пород  $\gamma$  изменяется в пределах  $\frac{\sigma_{сж}}{K_k \gamma H} < K_y \leq K$ , что соответствует переходу от плотной к трещиноватой структуре, слабонапряжённому, неудароопасному состоянию угольного пласта.

**Вариант IV.** Окружность пересекает огибающую предельных кругов напряжений (запредельное состояние). Комплексный показатель удароопасности принимает значения  $K_y \leq \frac{\sigma_{сж}}{K_k \gamma H}$ , что соответствует зоне разгрузки, возникновению трещин, отжиму угля, неудароопасному состоянию угольного пласта.

Установленные критерии используются при обосновании типов и параметров крепи, способов и средств упрочнения пород для обеспечения устойчивости угольных целиков и камер.

Для оценки результатов прогноза с учетом комплексного показателя удароопасности в выделенных зонах проведено сравнение вычисленных методом конечных элементов и измеренных в шахтных условиях прочностных и деформационных свойств угля и пород, а также напряжённому состоянию массива горных пород.

## **2.2 Разработка программы и описание технологии проведения шахтных измерений для оценки напряжённому состоянию угольного массива в краевой части пласта**

Наиболее распространённым способом оценки напряжённому состоянию угольного массива в краевой части пласта является выход буровой угольной мелочи из шпура [9, 67]. Для снижения выявленных повышенных напряжений в угольном массиве Инструкцией [9] предлагается нагнетание поверхностно-активных веществ, которые посредством расширения микротрещин снижают

прочность угля и способность накапливать упругую энергию [68], а также разгрузка угольного массива скважинами или щелями.

В последние годы начали применяться геофизические методы контроля состояния массива горных пород и прогноза горных ударов в структуре многофункциональной системы безопасности угольных шахт [89].

Геофизические наблюдения по оценке напряженного и удароопасного состояния пласта III на «Поле шахты №2» и «Поле шахты №1» в условиях шахты ЗАО «Распадская-Коксовая» осуществлялись аппаратурой АЭШ-1 автором совместно с ВНИМИ.

Программа шахтных наблюдений включала ежесуточный осмотр состояния горных выработок, угольных целиков, пород кровли и почвы. Все аномальные процессы и особенности проявления горного давления в виде техногенных трещин, отжима угля, разрушений угольных целиков, вывалов пород кровли и пучения пород почвы в камерах фиксировались в специальном журнале по результатам визуального осмотра и рулеточного замера.

Программа инструментальных измерений включала следующие виды работ:

- определение категории удароопасности по выходу буровой мелочи при бурении шпуров;
- измерения конвергенции кровля-почва и боков выработок;
- мониторинг состояния горного массива и прогноза горных ударов по Методическим указаниям ВНИМИ [89].

Сущность мониторинга состояния массива горных пород в окрестности выработок геофизической аппаратурой АЭШ-1 состоит в использовании зависимостей электропроводности от горного давления, степени расслоения и трещиноватости [83]. Реализована схема дипольного электромагнитного зондирования и профилирования угольных пластов и пород кровли.

Напряжённость массива горных пород оценивается по величине относительного параметра  $F$ , определяемого по отношению амплитуд регистрируемых электромагнитных импульсов в плоскости,

перпендикулярной оси выработки. Для этого рамочные антенны устанавливаются в трёх направлениях бок-бок, кровля-почва и в воздушном пространстве выработки. Мониторинг состояния массива горных пород при отработке пласта III проводился в течение трёх лет под руководством и с участием автора настоящей работы при методическом сопровождении специалистов ВНИМИ и НЦ ВостНИИ.

По результатам многолетних исследований ВНИМИ по величине показателя напряженности  $F$  выявлены следующие критерии, для определения состояния массива горных пород:

$F \geq 1,0$  уголь или порода разгружены, трещиноватые;

$F = 0,2-1,0$  уголь или порода находятся в плотном слабинапряжённом (неудароопасном состоянии);

$F = 0,13-0,19$  соответствует пограничному уровню напряжений (переход от категории НЕОПАСНО к категории ОПАСНО);

$F = 0,07-0,12$  высокий уровень напряжений, соответствующий категории ОПАСНО.

На рис. 2.6, в качестве примера, приведены результаты измерений аппаратурой АЭШ-1 показателя напряженности  $F$  в промежуточном штреке пласта III.

По величине показателя напряженности  $F > 1$  в боках промежуточного штрека пласта III согласно рис. 2.6 выделена разгруженная трещиноватая зона шириной 2-5 м от бока выработки. В кровле выработки высота этой зоны составила 3-8 м. За пределами указанных зон выявлены повышенные напряжения, категория ОПАСНО не установлена.

Аналогичные результаты исследований распределения показателя напряженности  $F$  в боках выемочных камер представлены на рис. 2.7, согласно которому в боках камеры №1 зона повышенной трещиноватости распространяется на ширину до 4м, а высота свода ослабленных пород кровли от 4 до 7 м.

После анализа проведенных в течение 2016 – 2017 гг. в восьми выработках исследований, по характеру распределения показателя напряженности  $F$  предлагается все результаты измерений разделить на две специфические для технологии отработки мощного пласта короткими забоями группы: результаты измерений, полученные в выработках по верхнему слою, и в угольных целиках между выемочными камерами.

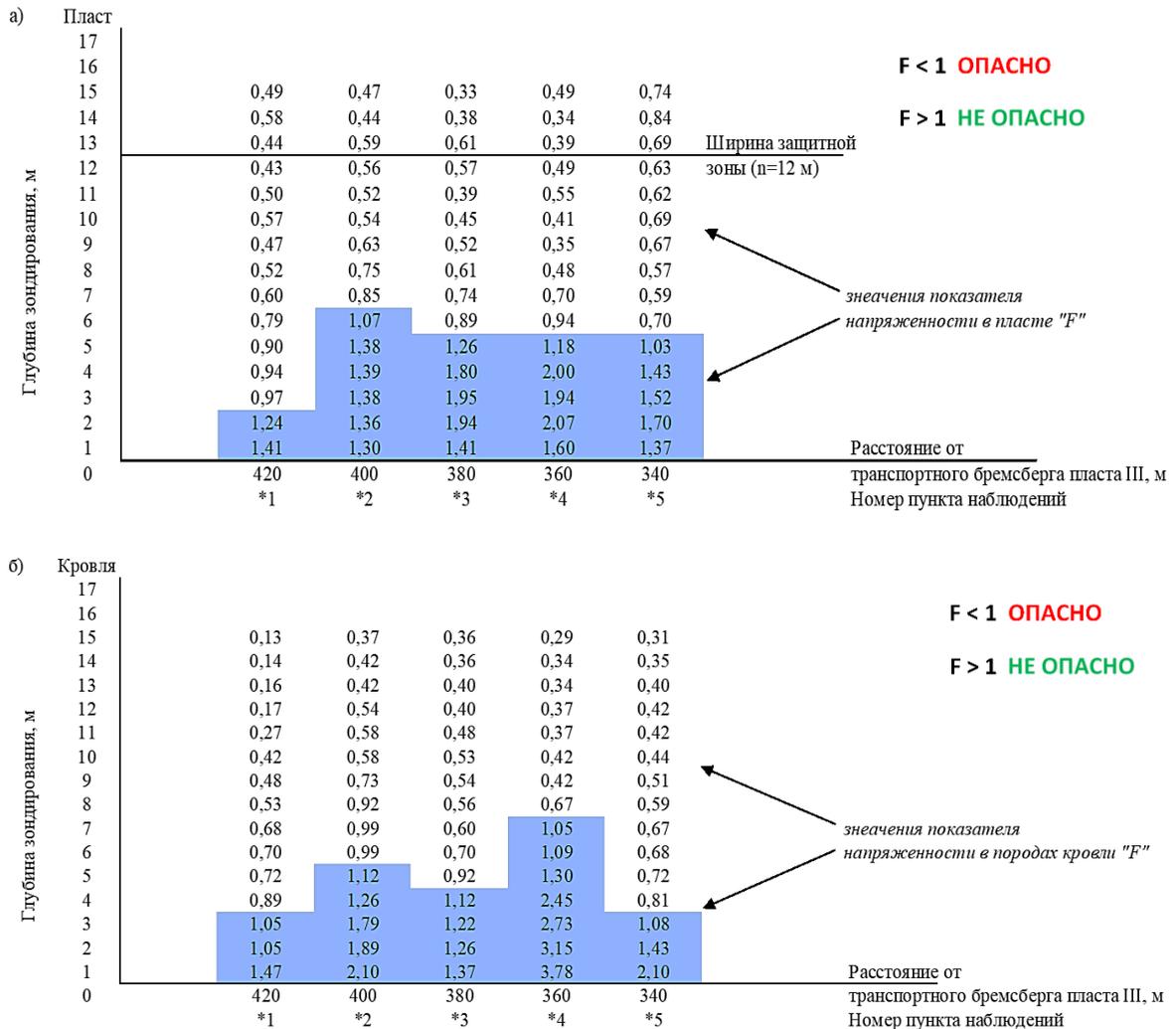


Рис. 2.6. Результаты измерений аппаратурой АЭШ-1 показателя напряженности  $F$  в промежуточном штреке пласта III:

а – бок штрека; б – кровля штрека

На рис. 2.8 приведены результаты измерений с помощью аппаратуры АЭШ-1 показателя напряженности  $F$  в боках (рис. 2.8 а) и кровле (рис. 2.8 б) восьми штреков, пройденных по верхнему слою пласта III.

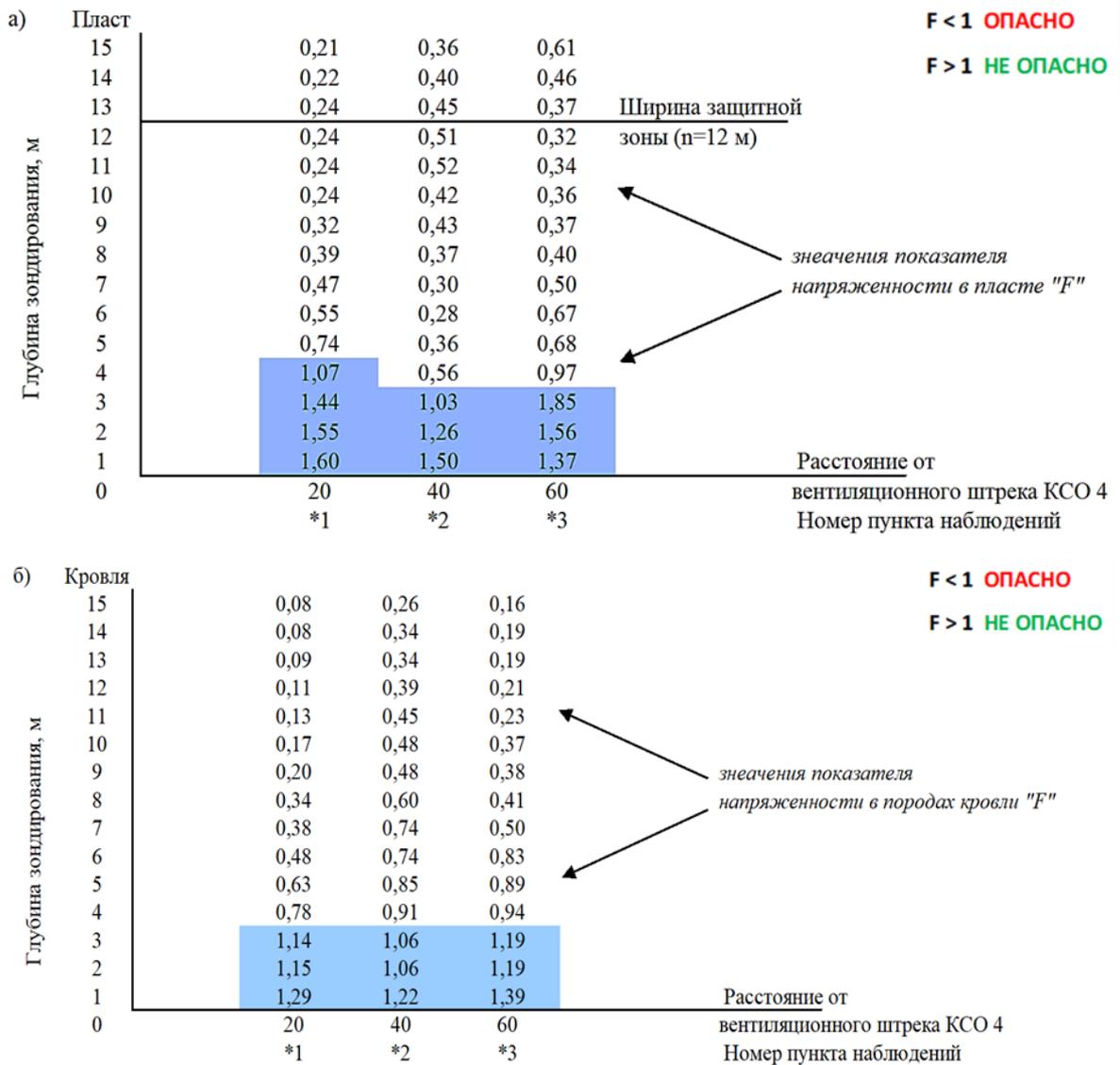


Рис. 2.7. Результаты измерений аппаратурой АЭШ-1 показателя напряженности  $F$  в выемочной камере №1 пласта III:

а – бок камеры; б – кровля камеры

Согласно установленным ВНИМИ [83] критериям состояния горного массива и графикам рис. 2.8 можно утверждать, что ширина зоны частично разрушенного и слабо напряжённого угольного массива в боках выработок при  $F \geq 1,0$  изменяется в пределах от 2,5 – 8,0 м, что свидетельствует о неравномерности распределения прочностных и деформационных свойств угольного пласта и параметров напряжённого состояния массива горных пород.

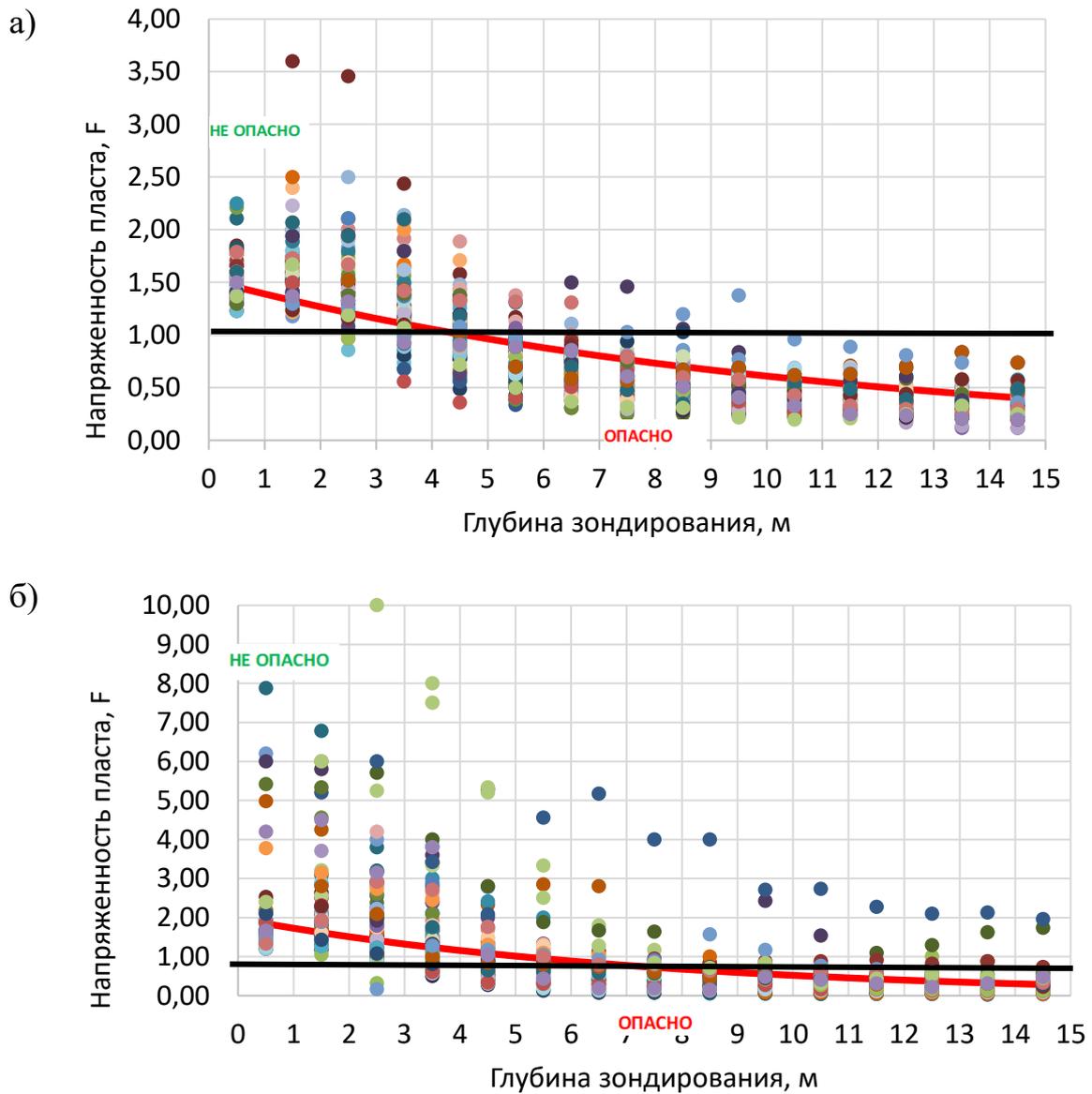


Рис. 2.8. Зависимости распределения показателя напряженности  $F$  в окрестности штреков верхнего слоя пласта III: а – в боках; б – в кровле

В соответствии с выделенными группами измерений установлены зависимости распределения показателя напряженности  $F$  в боках (рис. 2.9 а) и в кровле выемочных камер пласта III (рис. 2.9 б).

Для оценки соответствия зависимостей распределения показателя напряженности  $F$  и объёма выхода буровой мелочи на разных расстояниях от бока выработки построены графики, приведённые на рисунках 2.10 для выработок по верхнему слою и 2.11 для междукammerных целиков.

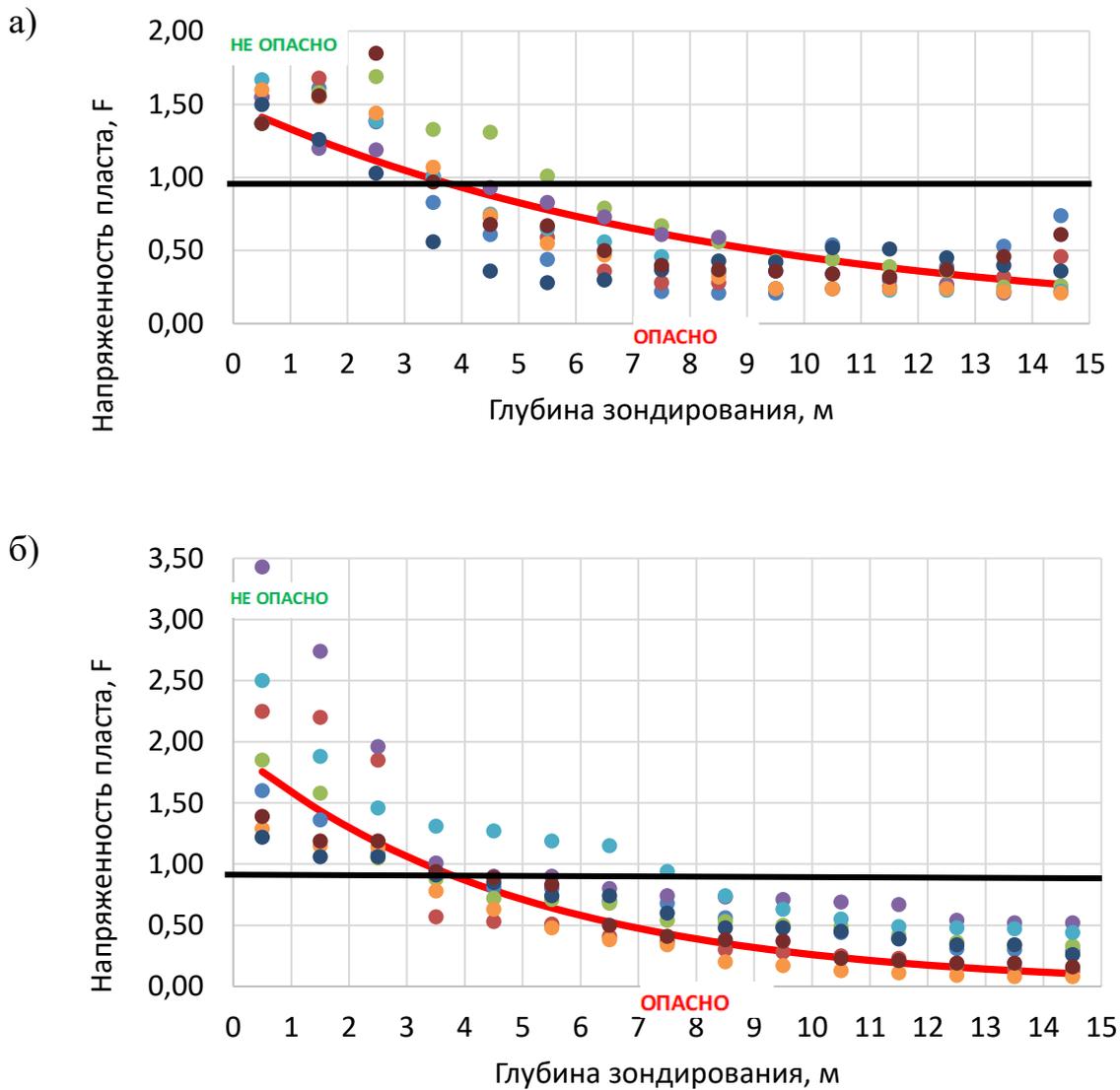


Рис. 2.9. Зависимости распределения показателя напряженности  $F$  в боках (а) и кровле выемочных камер (б) пласта III

Как следует из рисунков 2.10 и 2.11 категория удароопасности согласно [9] НЕОПАСНО. Согласно рис. 2.10 выявлена следующая линейная зависимость объёма буровой мелочи  $P^v$  (л) от глубины бурения скважин  $l'$  (м) в боках штреков, пройденных по верхнему слою пласта:

$$P^v = 1,40 + 0,25l'. \quad (2.7)$$

По объёму выхода буровой мелочи при бурении скважин из выемочных камер в направлении угольного массива получена следующая эмпирическая зависимость (рис. 2.11):

$$P^v = 1,70 + 0,40 \cdot (l')^{0,40}. \quad (2.8)$$

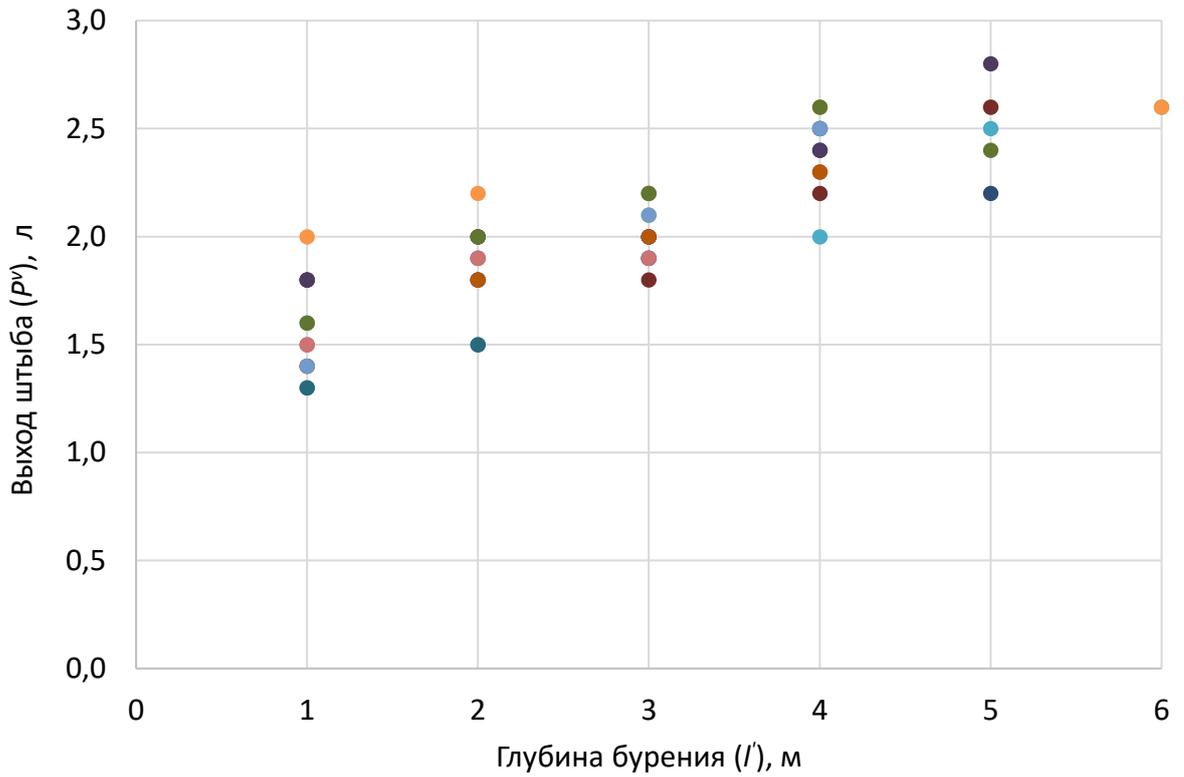


Рис. 2.10. Зависимости распределения объёма выхода буровой мелочи в боках выработок верхнего слоя пласта III

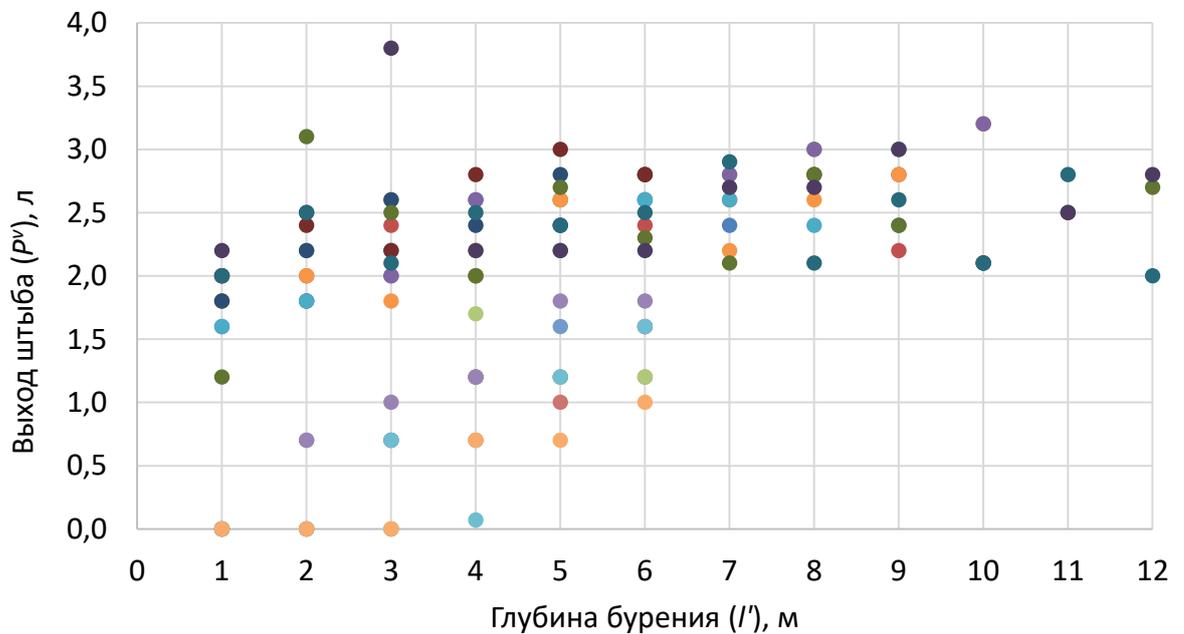


Рис. 2.11. Зависимости распределения объёма выхода буровой мелочи в боку камеры при бурении скважин в сторону угольного массива

Зависимости являются весьма приближёнными, так как длина скважин при бурении их из штреков не достигла границы зоны предразрушения угля, указанной на рис. 2.10. Кроме того, характер распределения экспериментальных точек на рисунках 2.8 – 2.11 весьма хаотичный, что связано как с неоднородностью угольного массива, так и совокупным влиянием второстепенных факторов. Поэтому рекомендуется для оценки удароопасности пласта применять несколько методов, в том числе численного моделирования.

### **2.3 Оценка соответствия результатов вычислительных экспериментов данным шахтных исследований геомеханических процессов при короткозабойной отработке склонного к горным ударам мощного угольного пласта**

Для оценки соответствия результатов численного моделирования напряженного состояния угленосного массива при отработке короткими забоями мощного пологого угольного пласта данным шахтных измерений проведено сравнение результатов численного моделирования и шахтных инструментально-визуальных наблюдений по следующим параметрам:

- форма и размеры зон отжима угля с боков камер;
- смещения пород кровли и почвы камер;
- границы переходных зон состояния угля и пород, полученные по результатам численного моделирования и измеренного показателя напряженности  $F$  массива горных пород по методике ВНИМИ аппаратурой АЭШ-1;
- качественная оценка механических напряжений по выходу буровой мелочи при бурении шпуров и скважин;
- форма разрушения элементов анкерной крепи: прогибы верхняков, срывы гаек анкерных болтов;
- смещения контурных и глубинных реперов в окрестности выработок;

– время и интенсивность газодинамического явления в виде обрушений пород кровли, прорывов метана из нижних слоёв пласта III.

На рисунке 2.12 приведены изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород в окрестности выемочной камеры, пройденной по верхнему слою пласта III. Как следует из рисунка 2.12 вблизи контура выработок показатель удароопасности близок к нулю, а на расстоянии 3-7 м от бока выработки  $K_y=1$ . В кровле выработки высота зоны трещиноватости пород достигает 6 м. Наиболее опасными участками в окрестности выемочной камеры являются нижние слои угольного пласта, в пределах которых возможно интенсивное пучение угольного массива, что подтвердилось в процессе проведения камер по нижним слоям. Наклонные трещины в почве камеры и отжим угля с боков до 0,5 м зафиксированы при инструментально-визуальном обследовании выработок.

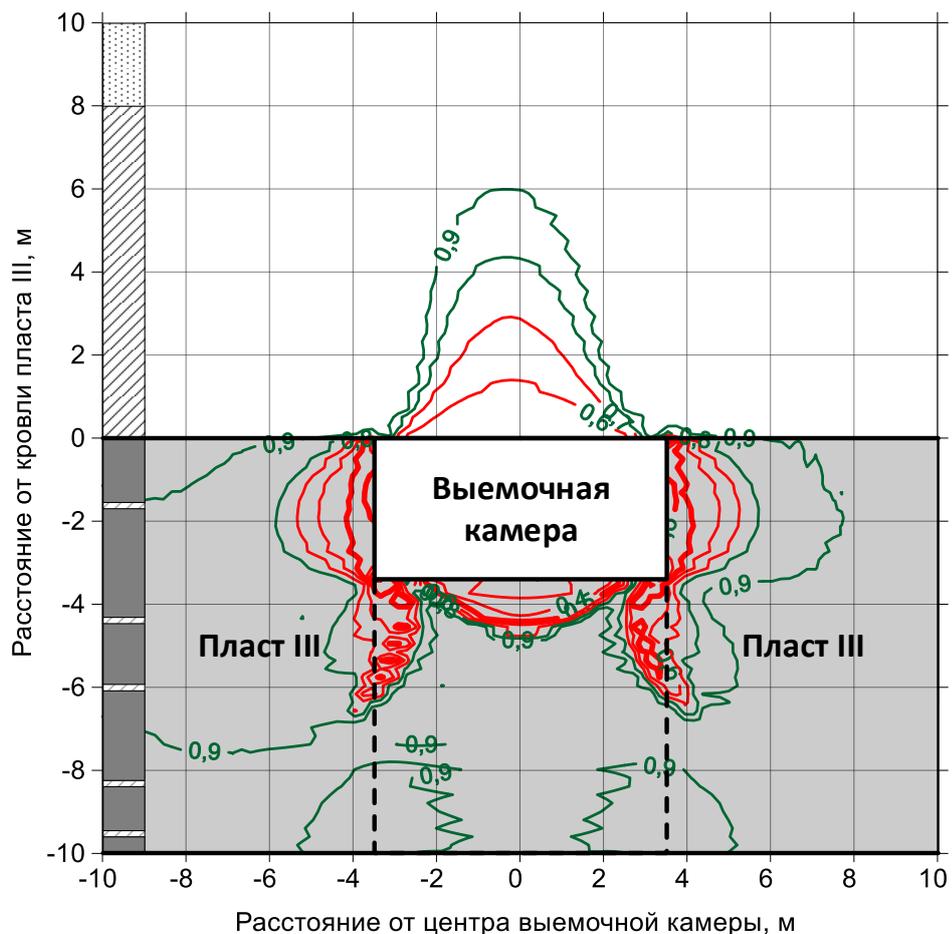


Рис. 2.12. Изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород после проведения выработки по верхнему слою

Изменение показателя удароопасности угля и пород приводит к оседаниям пород кровли и пучению угольного массива в почве камеры (рис. 2.13). Вертикальные смещения угля и пород в окрестности выемочной камеры проявляются в виде оседаний породной плиты до 60 мм и пучения угольного массива в почве камеры.

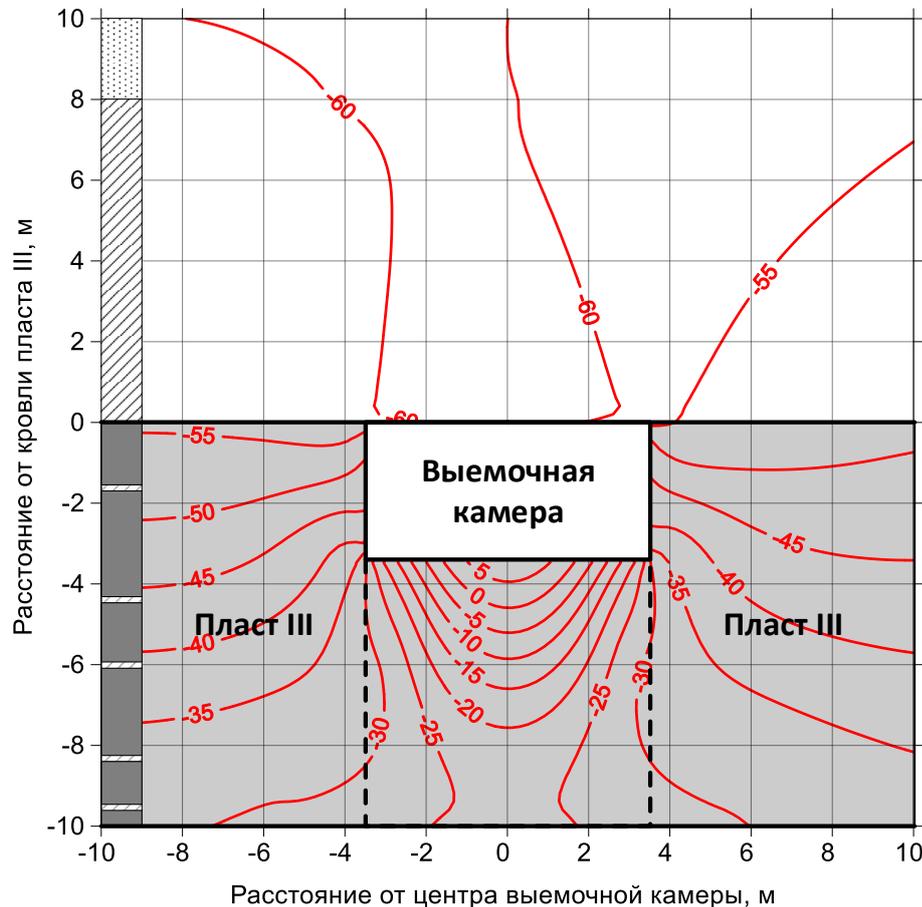


Рис. 2.13. Изолинии распределения вертикальных смещений ( $\eta$ , мм) после проведения первой камеры по верхнему слою:  $\eta < 0$  - оседания;  $\eta > 0$  - пучение

Количественное сравнение результатов вычислительных экспериментов и измеренных в шахтных условиях параметров приведено в табл.2.2. Как следует из табл. 2.2 отклонения вычисленных и измеренных в шахтных условиях величин соответствуют погрешности исходных горно-геологических данных и измерения смещений контура горных выработок и параметра напряжённости  $F$ .

На основе сопоставления предлагаемых критериев определения границ переходных зон состояния угля и пород и измеряемого по методике ВНИМИ

аппаратурой АЭШ-1 параметра  $F$  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  $F$ .

Таблица 2.2. 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

Таким образом, доказано соответствие параметров напряженного состояния массива горных пород, установленных по результатам численного моделирования, шахтного эксперимента и исследований, проведённых ВНИМИ и ВостНИИ.

Следует отметить, что численное моделирование позволяет получить более детальное распределение напряжений, по сравнению с методом ВНИМИ [104]. Можно определить вертикальные и горизонтальные напряжения, комплексный показатель удароопасности угля в каждом целике или краевой части пласта с учётом пространственно-временного расположения очистных и подготовительных выработок.

На основе проведённого анализа соответствия расчётных и измеренных в шахтных условиях параметров напряженного состояния массива горных

пород разработаны структура методики и программа исследований напряжённого состояния массива горных пород при отработке склонных к горным ударам мощных угольных пластов.

Основная концепция создания и реализации методики геомеханического обеспечения состоит в циклическом повторении следующих операций:

- прогнозирование по результатам моделирования в пределах обрабатываемого и соседних выемочных участков пространственного положения зон с повышенной концентрацией напряжений;
- проведение точечного мониторинга в зонах с повышенной концентрацией напряжений;
- оценка соответствия вычисленных и измеренных параметров напряженного состояния массива горных пород;
- разработка и реализация противоударных мероприятий;
- отработка угольного пласта.

После каждого этапа для принятия решения по геомеханическому обеспечению обязательными процессами являются численное моделирование и точечный мониторинг напряжённого состояния массива горных пород. Применение точечного мониторинга позволяет существенно снизить материальные и трудовые затраты и сократить время простоев очистных и подготовительных забоев в период проведения противоударных мероприятий.

## 2.4 Выводы

По результатам разработка методики количественного прогнозирования геомеханических процессов при отработке склонных к горным ударам мощных угольных пластов обоснованы следующие выводы:

- 1) Основными параметрами, определяющими напряжённое состояние массива горных пород при отработке склонного к горным ударам мощного пласта, являются: полный вектор напряжений, комплексный показатель удароопасности угля и пород, границы переходных зон состояния угля в боках

штреков и выемочных камер, пространственное положение концентраторов упругих напряжений.

2) Результаты точечных шахтных исследований геомеханических процессов с использованием регламентированных действующими методическими документами ВНИМИ и НЦ ВостНИИ способов и средств, являются достаточными для настройки входных параметров математической модели геомеханических процессов. В качестве исходных данных рекомендуется использовать результаты измерения в окрестности выработок смещений по контурным и глубинным реперам, определения геофизическими методами размеров зон трещиноватости массива горных пород, выхода буровой мелочи при бурении шпуров.

3) Обоснованы критерии оценки напряженного и удароопасного состояния угольного пласта на основе комплексного показателя удароопасности:  $K_y > 1,0$  – высокий уровень напряжений, удароопасное состояние;  $K < K_y \leq 1,0$  пограничный уровень напряжений (переход от категории НЕОПАСНО к категории ОПАСНО);  $\frac{\sigma_{сж}}{K_{вгн}} < K_y \leq K$  – переход от плотной к трещиноватой структуре, слабонапряжённое (неудароопасное) состояние;  $K_y \leq \frac{\sigma_{сж}}{K_{вгн}}$  – разгружен, преимущественно трещиноватый, неудароопасный.

4) 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  $F$ .

5) Доказано удовлетворительное соответствие результатов шахтного мониторинга и расчётов методом конечных элементов параметров напряженного состояния массива горных пород: по размерам зоны трещиноватости (предразрушения)  $\pm 2$  м; конвергенция кровля-почва выработок отличаются не более 20%; конвергенция бок-бок выработок не более 15%.

### **ГЛАВА 3. ИЗУЧЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ КАМЕРНО-СТОЛБОВОЙ И КАМЕРНОЙ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ СКЛОННЫХ К ГОРНЫМ УДАРАМ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

В настоящей главе приведены и обобщены результаты исследования напряжённого состояния массива горных пород при отработке мощного удароопасного пласта камерной и камерно-столбовой системами разработки. Выявлены закономерности изменения напряженного состояния массива горных пород при камерно-столбовой и камерной системах разработки.

#### **3.1 Исследование напряженного состояния массива горных пород при камерно-столбовой системе разработки склонного к горным ударам мощного угольного пласта**

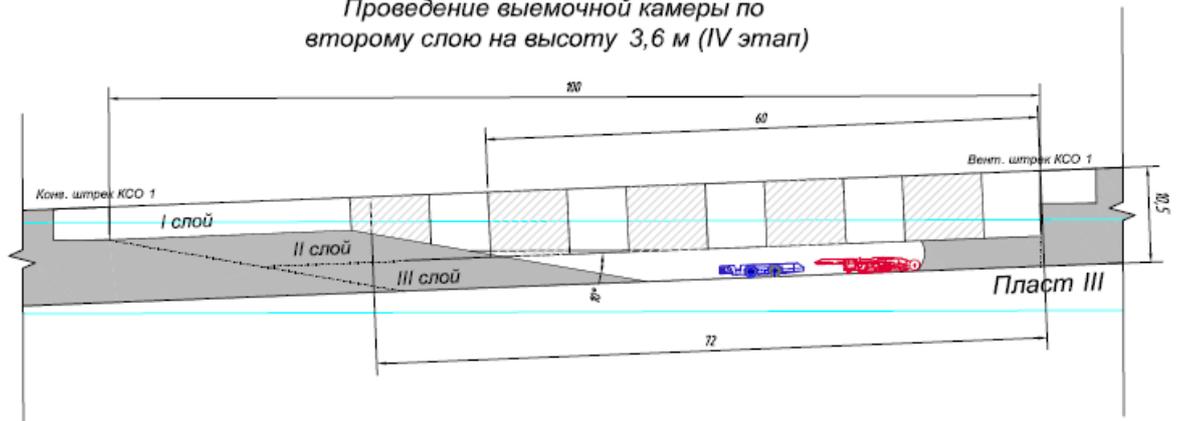
В ООО «Распадская угольная компания» по рекомендациям автора настоящей работы было принято решение применить для отработки пласта III в условиях шахты ЗАО «Распадская-Коксовая» камерно-столбовую систему разработки (рисунок 3.1). Сущность варианта камерно-столбовой системы состоит в отработке мощного пласта слоями, в каждом слое проводится камера, которая расширяется заходками при движении выемочного комбайна обратным ходом.

Пласт III – один из самых мощных на участке «Поле шахты №2» (см. рис.2.3), выдержанный, строение от простого до очень сложного. Содержит более 8 прослоев породы мощностью 0,05-0,40 м, представленных аргиллитами и алевролитами. Мощность пласта от 7,86 до 13,03 м, в среднем 10,64 м. Выше пласта III на расстоянии 38-40 м залегает пласт I.

Ложная кровля представлена аргиллитами. Непосредственная кровля пласта мощностью 17,4 м представлена алевролитами крупно- и мелкозернистыми.

а)

Проведение выемочной камеры по второму слою на высоту 3,6 м (IV этап)



б)

Выемка заходок по второму слою (V этап)

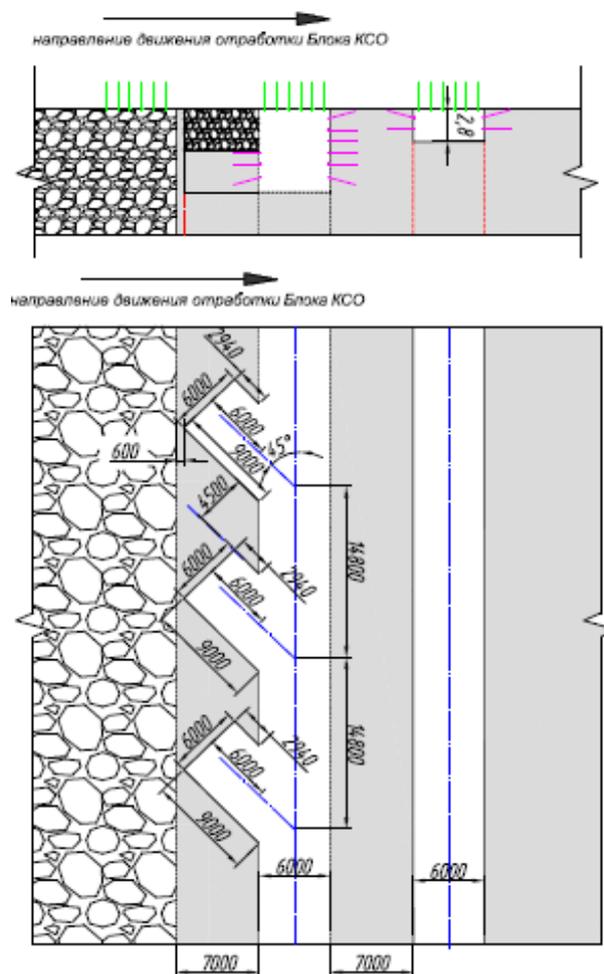


Рис. 3.1. Схема отработки пласта III камерно-столбовой системой разработки, выемочные блоки КСО 1-1 и КСО 1-2, шахта ЗАО «Распадская-Коксовая»: а-вертикальное сечение по оси камеры; б- поперечные разрезы и план камер и заходок

Основная кровля представлена песчаниками светло-серыми, мелкозернистыми, характеризуется как труднообрушающаяся.

На границе непосредственной и основной кровли залегает угольный пласт мощностью 0,1-0,4 м.

Непосредственная почва представлена алевролитами мелкозернистыми с переслаиванием алевролитов с песчаниками, местами трещиноватая. Глубина горных работ на участках КСО 1-1 КСО 1-2 составляет 300-370 м. Проектная мощность участка 300 тыс. т угля в год.

Для моделирования НДС угленосного массива использованы параметры камерно-столбовой системы, принятые в проектной документации. Предварительно были получены заключения и рекомендации ВНИМИ по обоснованию основных параметров камерно-столбовой системы разработки пласта III на участках КСО 1-1 и КСО 1-2 в условиях ЗАО «Распадская-Коксовая».

В соответствии с заключениями и разработанными рекомендациями в проекте и расчётной модели приняты следующие параметры камерно-столбовой системы разработки: ширина камеры 6 м, ширина целика-столба между камерами 6-8 м, размеры заходки 6×6 м, ширина барьерного целика между соседними блоками 18-39 м.

Обязательным условием является проведение прогноза удароопасности. Теоретическое обоснование параметров системы разработки для условий пласта III приведено в статьях ведущих учёных [12, 63], в которых посредством сравнения характера распределения опорного горного давления доказано, что вероятность горного удара как при отработке угольного пласта длинными очистными забоями, так и короткими почти одинаковая. Сложность управления горным давлением на экспериментальном участке состоит в необходимости проведения противоударных мероприятий в угольных целиках и краевых участках пласта.

Для выявления характера распределения напряжённого состояния массива горных пород в пределах участков КСО 1-1 и КСО 1-2 ЗАО

«Распадская-Коксовая», отрабатываемых камерно-столбовой системой, было проведено численное моделирование методом конечных элементов с использованием пакета объектно-ориентированных программ [7].

При численном моделировании вычислялись следующие параметры: полный вектор напряжений, вертикальные и горизонтальные смещения угольного пласта и вмещающих пород, комплексный показатель удароопасности, энергия формоизменения для прогноза очагов горных ударов.

Для вычислительных экспериментов принята следующая геометрическая модель углепородного массива:

- длина вертикального разреза по сечению в середине выемочного столба 562 м;
- глубина разработки пласта III в зоне влияния КСО 478 м;
- вынимаемая мощность пласта принята 10,5 м, слоёв 3,30 – 3,50 м;
- начало координат на вертикальном разрезе по вертикальной оси оси  $Y$  принято в кровле пласта;
- начало координат в разных вариантах по оси  $X$  перемещается по длине выемочного столбу в зависимости от положения камер.

В расчетной модели углепородной толщи учтено 100 слоёв, количество конечных элементов равно 40400. Всего рассмотрено 139 вариантов расположения выработок и угольных целиков при отработке трёх слоёв пласта III.

При проведении вычислительных экспериментов задавались следующие граничные условия: горизонтальные смещения на левой и правой границах расчетной области равны нулю, на нижней границе вертикальные смещения равны нулю; вес горных пород распределяется по конечным элементам по гравитационному закону; боковое давление учитывается по теории Динника с учётом коэффициента бокового давления.

Для настройки входных параметров расчетной модели использовались следующие результаты точечных шахтных измерений:

- ширина зоны отжима угля с боков выработок;

- конвергенция пород кровли и почвы;
- смещения глубинных реперов в кровле выработок;
- ширина зоны трещиноватости (предразрушения), которая определялась согласно методике ВНИМИ по графикам изменения параметра  $F$  импульсного электромагнитного излучения массива горных пород.

Измеренные в шахтных условиях величины смещений вводились в расчётную модель в виде опорных точек в соответствующих конечных элементах. Ширина зон отжима и трещиноватости учитывалась в процессе последовательных итерационных решений посредством изменения комплексного показателя удароопасности угля и пород  $K_y$  в пределах 0,5 – 1,0. Итерационный процесс прекращался при отклонении измеренных и вычисленных размеров зон в пределах  $\pm 0,5$  м.

Исследования проведены поэтапно:

1 этап – выявление закономерностей распределения параметров напряженного состояния массива горных пород в окрестности одиночной камеры при слоевой выемке пласта;

2 этап – выявление закономерностей распределения параметров напряженного состояния массива горных пород в окрестности одиночной камеры при расширении её обратным ходом заходками;

3 этап – выявление закономерностей распределения параметров напряженного состояния массива горных пород в окрестности нескольких камер в пределах блока.

### ***3.1.1 Выявление закономерностей распределения параметров напряженного состояния массива горных пород в окрестности одиночной камеры при выемке верхнего слоя в пласте***

В соответствии с установленными во второй главе критериями разрушения угля и пород в окрестности камеры по верхнему слою пласта III (см. рис. 2.12) следует ожидать отжим угля в боках выработки глубиной до 0,5 м, пучение нижней угольной пачки с формированием трёх трещин: по

бокам и в середине выработки. Необходимо отметить, что по трещинам в боках выработки из нижних слоёв пласта возможно выделение в выработку метана, что подтвердилось при выемке среднего слоя в камере. В кровле выработки формируется блочная структура, то есть необходимо обязательно проводить крепление пород кровли.

Характер распределения зон упругопластического и запредельного состояния угля и пород подтверждается величинами смещений угля и пород на контуре камеры (см. рис. 2.13). Наиболее опасные концентрации вертикальных и горизонтальных напряжений выявлены в боках и почве выработки, а также на контакте породы кровли и угольного пласта (рис. 3.2):  $\sigma_x < 0$  соответствует сжатию,  $\sigma_x > 0$  – растяжению. Результаты расчётов подтверждают, что потеря устойчивости угольных целиков возможна за счёт выдавливания угля в камеру по контактам уголь-порода.

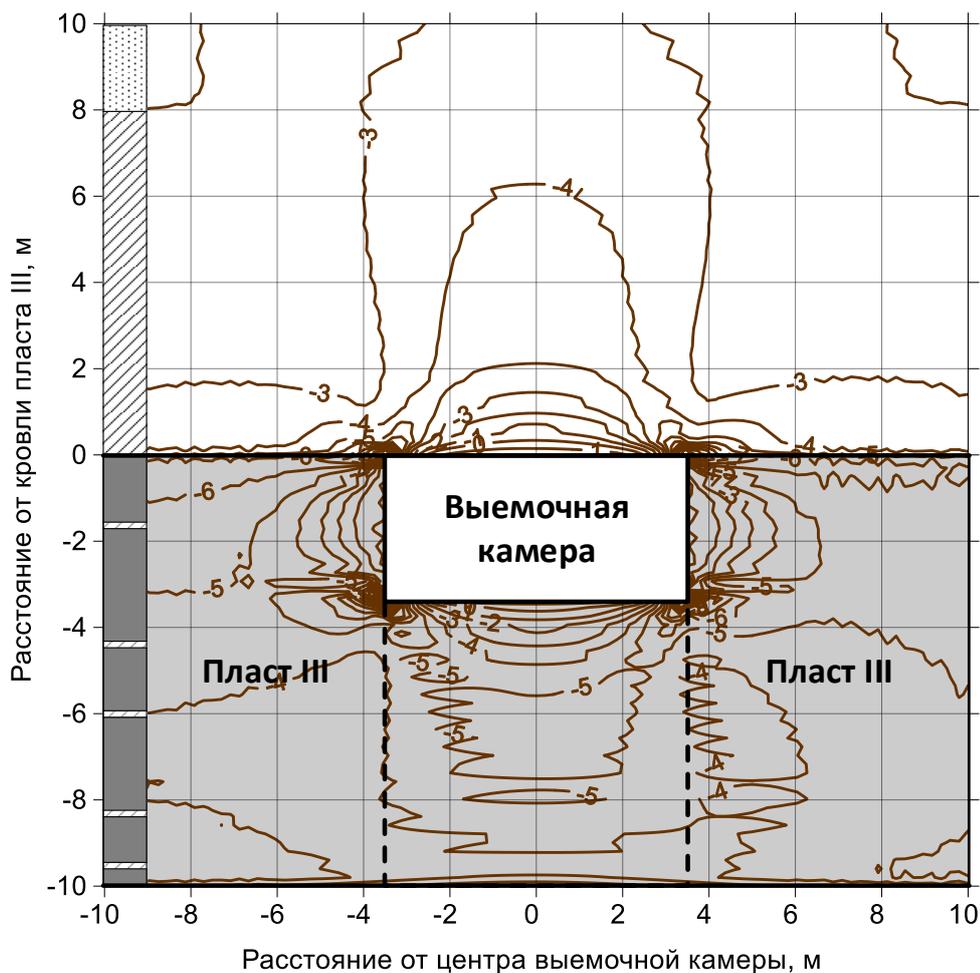


Рис. 3.2 Горизонтальные напряжения (МПа) после проведения первой камеры по верхнему слою

### 3.1.2 Выявление закономерностей распределения параметров напряженного состояния массива горных пород в окрестности первой, отработанной на полную мощность пласта, камеры

На следующем этапе исследований изучено распределение параметров напряженного состояния массива горных пород в окрестности отработанной на полную мощность пласта камеры с расширением заходками и с учётом влияния соседних выработок на верхнем слое. На рис. 3.3 представлено распределение коэффициента концентрации вертикальных напряжений

$$K_k = \frac{\sigma_y}{\gamma H},$$

где  $\sigma_y$  – вертикальные напряжения;  $\gamma$  – вес пород;  $H$  – глубина залегания пласта.

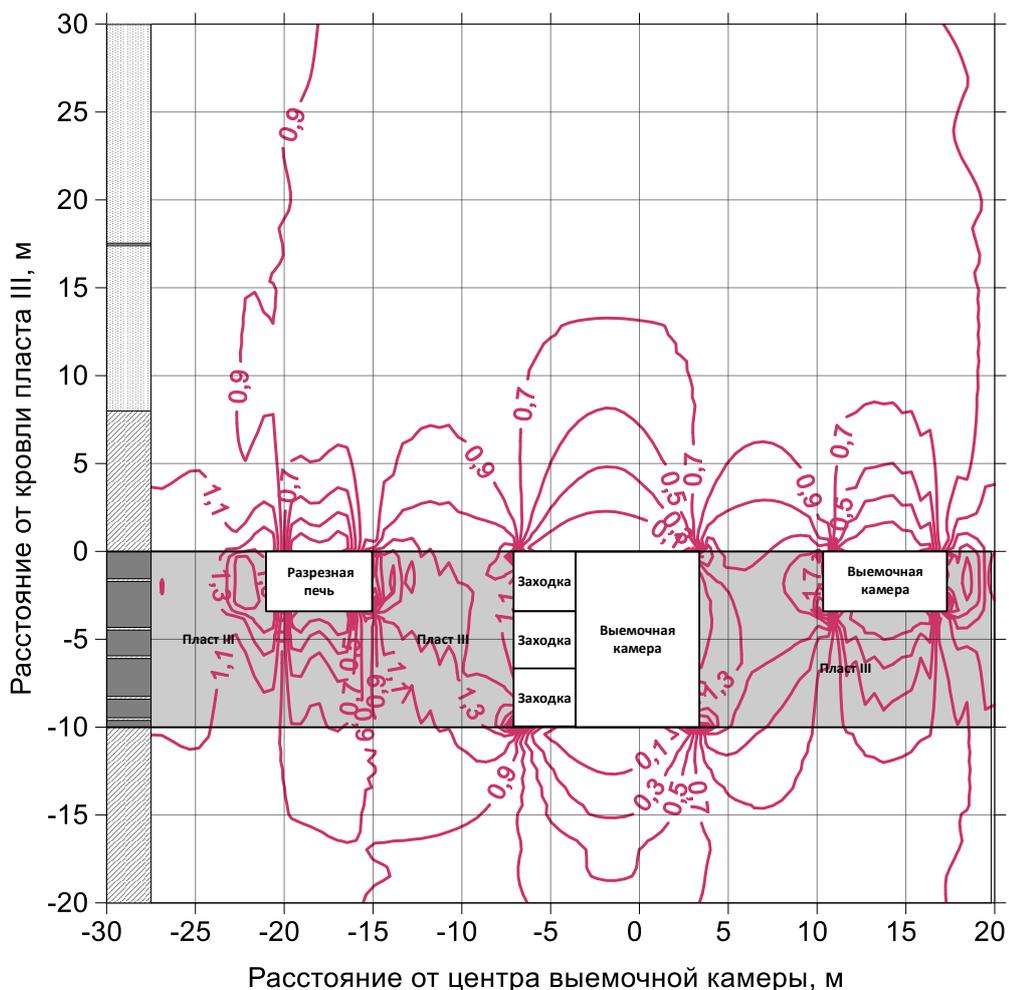


Рис. 3.3. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений после отработки и расширения заходками первой камеры на полную мощность пласта

При  $K_k < 1$  массив разгружен. Как следует из рис. 3.3, произошло перераспределение вертикальных напряжений с формированием зон опорного горного давления в угольных целиках и на контуре выработок. Разрезную печь КСО 3-1 и выемочную камеру по верхнему слою следует рассматривать как компенсационные выработки, в окрестности которых коэффициенты концентрации вертикальных напряжений достигают 1,7, а в кровле и почве выработок горный массив разгружен. Возможность использования компенсационных выработок для управления горным давлением при отработке мощных пластов подтверждена в работе С.В. Кузьмина [84].

Максимальные горизонтальные напряжения сжатия (рис. 3.4) также формируются в окрестности крайних выработок по верхнему слою.

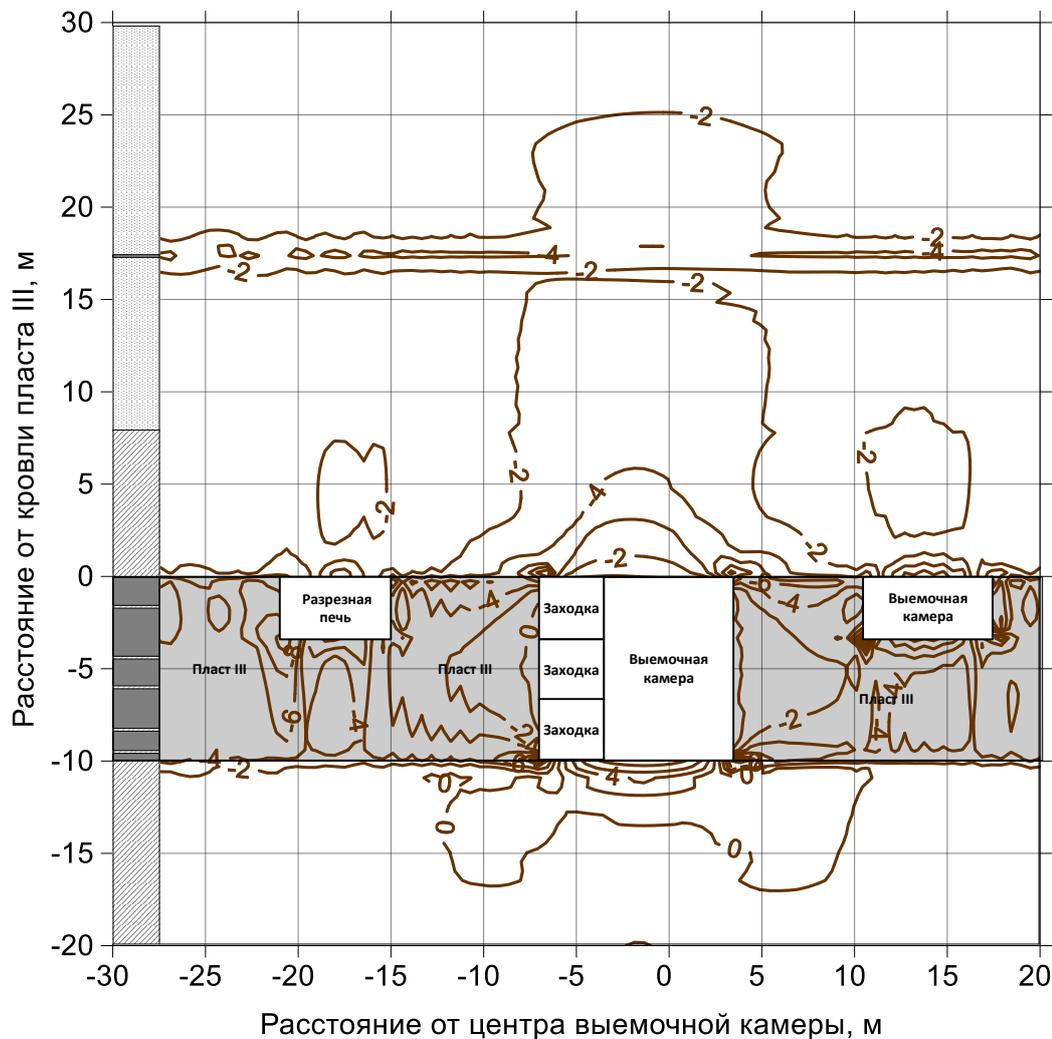


Рис. 3.4. Горизонтальные напряжения (МПа) после отработки и расширения заходками первой камеры по верхнему слою

В почве камеры горизонтальные напряжения растягивающие ( $\sigma_x < 0$  - сжатие;  $\sigma_x > 0$  - растяжение). По характеру распределения горизонтальных напряжений на расстоянии 17-18 м от кровли пласта выявлены вероятные разрушения пород кровли, границу которых следует рассматривать как высоту свода естественного равновесия.

Наличие смещений и разрушения пород кровли по контакту на расстоянии 17-18 м от кровли пласта подтверждается графиками рис. 3.5, где показано распределение комплексного показателя удароопасности угля и пород: при  $K_y$  в пределах 0,5 - 0,7 уголь или порода на контуре выработки находятся в упругопластическом состоянии, возможно образование трещин, блоков; при  $K_y < 0,5$  уголь или порода находятся в запредельном состоянии, частично разрушены.

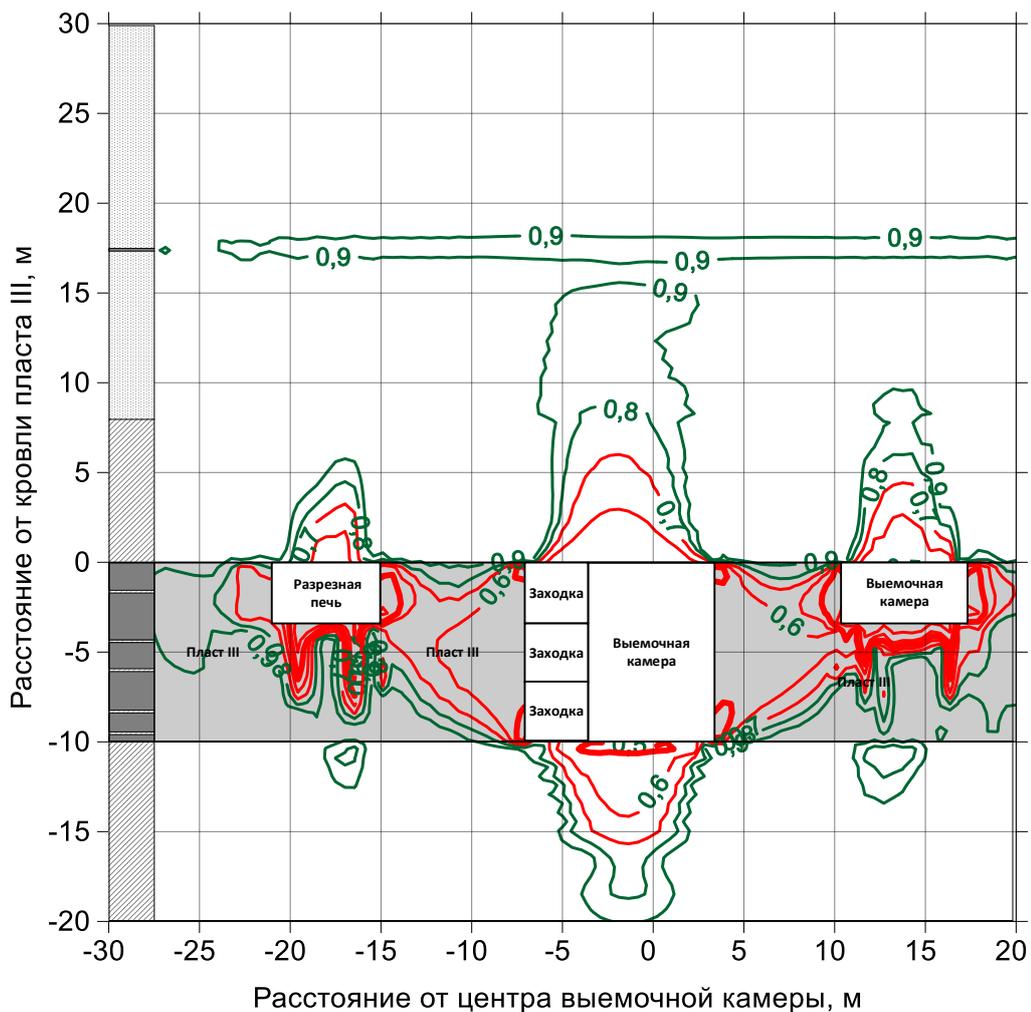


Рис. 3.5. Изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород после отработки первой камеры

Как следует из рис. 3.5, произошло перераспределение зон запредельного состояния угля и пород в угольные целики между выработками и породы почвы. Разрезную печь КСО 3-1 и выемочную камеру по верхнему слою следует рассматривать как компенсационные выработки. Перераспределение вертикальных и горизонтальных напряжений привело к увеличению площади зоны пучения угля в почве всех выработок.

Соответствие расчётных и фактических параметров деформирования угля и пород подтвердилось на практике результатами геофизического зондирования в выемочных камерах блока КСО 1-1 (таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Соответствие расчётных и фактических параметров деформирования угля и пород

Параметры деформирования угля и пород	Расчетные	Фактические
Ширина зоны трещиноватости угля	2 -5 м	до 3 м
Высота зоны трещиноватости в породах кровли	4 – 5 м	до 4 м
Высота зоны запредельного состояния в породах кровли	4 м	4 – 5 м

Расчётная ширина зоны трещиноватости угля на рисунке 3.5 составила 2 -5 м, а по данным геофизического зондирования – 1-4 м. По результатам геофизических наблюдений ВНИМИ установлено, что в боках камер расположена ненагруженная (частично трещиноватая) зона, распространяющаяся на ширину до 3 метров. Наличие зон повышенных напряжений по выходу буровой мелочи, соответствующих категории ОПАСНО, не обнаружено. В породах кровли над выемочной камерой по данным геофизического зондирования высота зоны трещиноватости распространяется на высоту 4 – 5 м, а по результатам моделирования (рисунок 3.5) - до 4 м.

В породах кровли над выемочной камерой расчётная высота зона запредельного состояния составила 4 м, а зоны трещиноватости по данным

ВНИМИ 4 – 5 м. Аналогичные выводы о соответствии зон трещиноватости, установленных по распределению комплексного показателя удароопасности и показателя напряженности  $F$  массива горных пород, получены и по другим экспериментальным участкам.

### ***3.1.3 Выявление закономерностей распределения параметров напряженного состояния массива горных пород в окрестности отработанных камер первого блока с расширением камер заходками***

Изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород после отработки и расширения заходками шести камер первого блока приведены на рис. 3.6. Ширина камер 7 м, заходок 3,5 м, целиков 3,5 м.

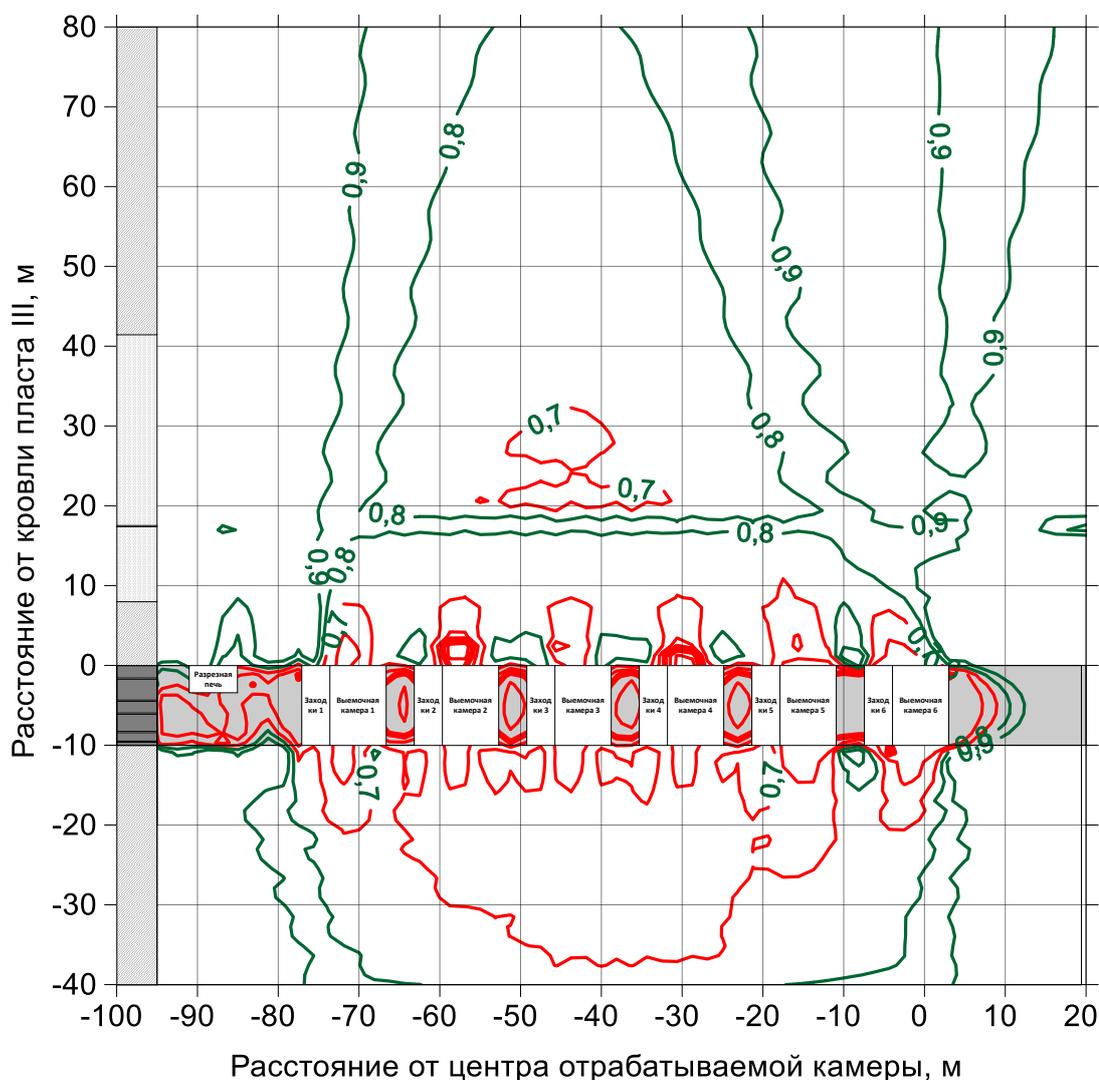


Рис. 3.6. Изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород после отработки и расширения заходками б камер первого блока

Геомеханическая ситуация после отработки первой и последующих соседних камер на полную мощность пласта существенно усложнилась. Уголь в целиках между камерами деформировался и перешёл в стадию предразрушения. В породах кровли над камерами образовались локальные своды естественного равновесия. Породы почвы под целиками также частично разрушились.

Характерной особенностью деформирования пород кровли является замыкание локальных сводов над камерами в общий свод высотой 17-18 м. Выше этого свода и зоны расслоения формируется вторичный свод до высоты 30 м от кровли пласта. Наличие общего свода над блоком подтверждается распределением вертикальных напряжений (рис. 3.7): при  $K_B < 1$  массив разгружен.

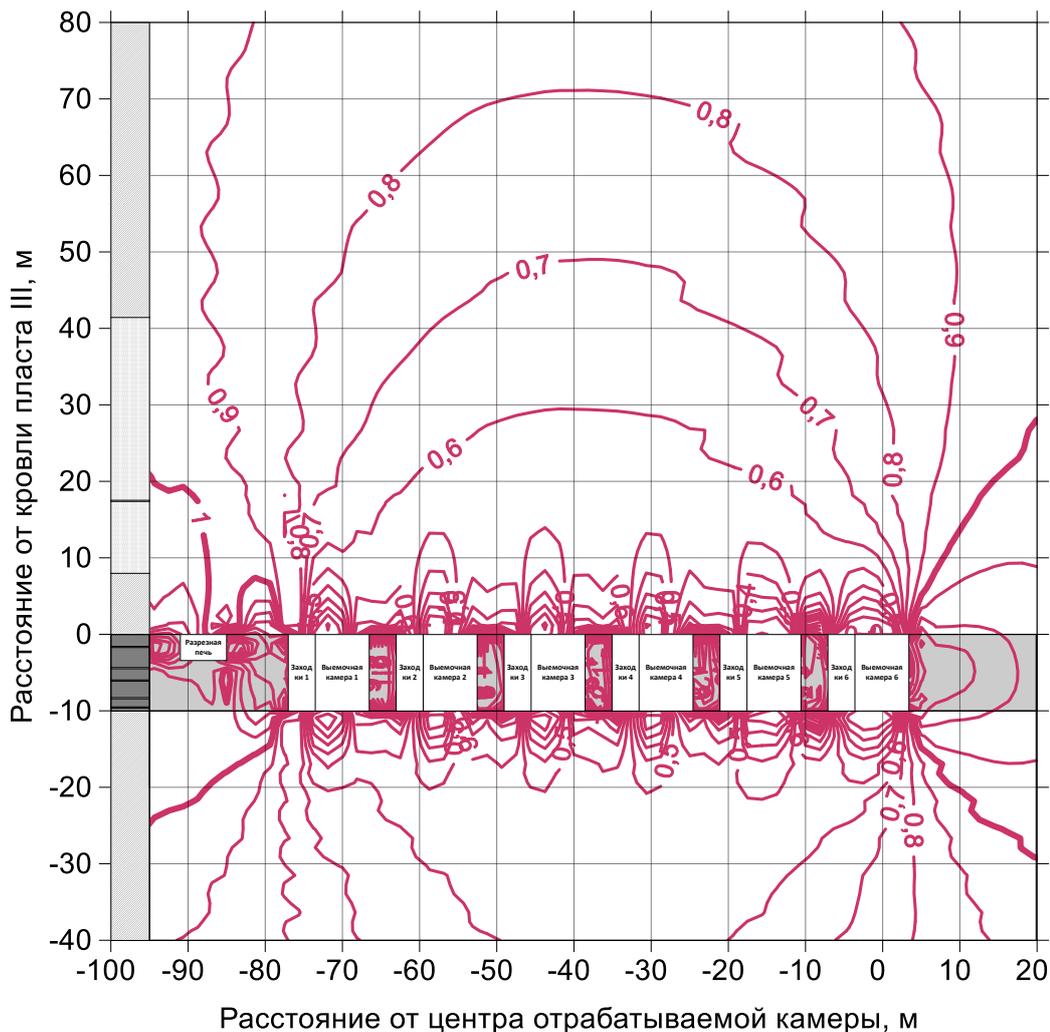


Рис. 3.7. Изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений после отработки и расширения заходками 6 камер первого блока

Согласно рис. 3.7, над средними камерами возникла зона частичной разгрузки вертикальных напряжений, а максимальные значения опорного горного давления выявлены в краевых частях блока. Наиболее опасная по горным ударам ситуация возникла в окрестности разрезной печи КСО 3-1 и в целике между этой печью и первой камерой. В почве пласта под камерами выявлены растягивающие вертикальные напряжения, что подтверждает возможность пучения пород почвы.

Таким образом, на основе результатов численного моделирования камерно-столбовой системы разработки мощного пологого угольного пласта, выявлены закономерности распределения напряжений и обоснованы следующие выводы:

1) Принятые в проектной документации параметры камерно-столбовой системы разработки при ширине камер 7 м, заходок 3,5 м и междукамерных целиков 3,5 м не обеспечивают безопасные условия ведения горных работ, так как происходит пучение угля и пород в почве камер, отжим угля с боков, что представляет опасность для людей.

2) Соответствие расчётных и фактических параметров деформирования угля и пород подтвердилось на практике результатами геофизического зондирования в выемочных камерах блока КСО 1-1: расчётная ширина зоны запредельного состояния угля составила 2 -5 м, а по данным геофизического зондирования – 1-4 м. В породах кровли над выемочной камерой расчётная высота зоны запредельного состояния составила 4 м, а зоны трещиноватости по данным ВНИМИ 4 – 5 метров.

3) В процессе и после проведения 5-6 камер над ними формируется свод давления пород, который характеризуется уменьшением давления на междукамерные целики и увеличением опорного горного давления в угольном пласте в окрестности крайних камер, где возрастает риск возникновения динамических явлений в форме горного удара.

4) Рекомендуется в условиях ЗАО «Распадская-Коксовая» для отработки пласта III применять камерную систему разработки с шириной камер и междукamerных целиков до 7 м, а междублоковых целиков до 20 м.

### **3.2 Исследование напряженного состояния массива горных пород при камерной системе разработки склонного к горным ударам мощного угольного пласта**

По методике, изложенной в разделе 2 настоящей работы проведено численное моделирование геомеханических процессов при разных вариантах пространственного положения объектов камерной системы разработки. Целью исследований является обоснование ширины камер, устойчивых угольных целиков между камерами и блоками.

Так как при камерно-столбовой системе разработки угольные целики между камерами оказались разрушенными, то в ООО «Распадская угольная компания» по рекомендации автора настоящей работы было принято решение рассмотреть вариант отработки мощного пласта III в условиях шахты ЗАО «Распадская-Коксовая» по камерной системе разработки (рис. 3.8).

Для определения параметров камерной системы разработки мощного пологого угольного пласта проведено численное моделирование методом конечных элементов с использованием комплекса проблемно-ориентированных программ [16].

При численном моделировании вычислялись следующие параметры напряженного состояния массива горных пород: полный вектор напряжений, вертикальные и горизонтальные смещения угольного пласта и вмещающих пород, комплексный показатель удароопасности.

В соответствии с программой исследований рассмотрены следующие варианты пространственного расположения камер, междукamerных и междублоковых угольных целиков:

- две параллельные камеры;

- система камер в пределах отдельного блока;
- система камер в пределах двух соседних блоков.

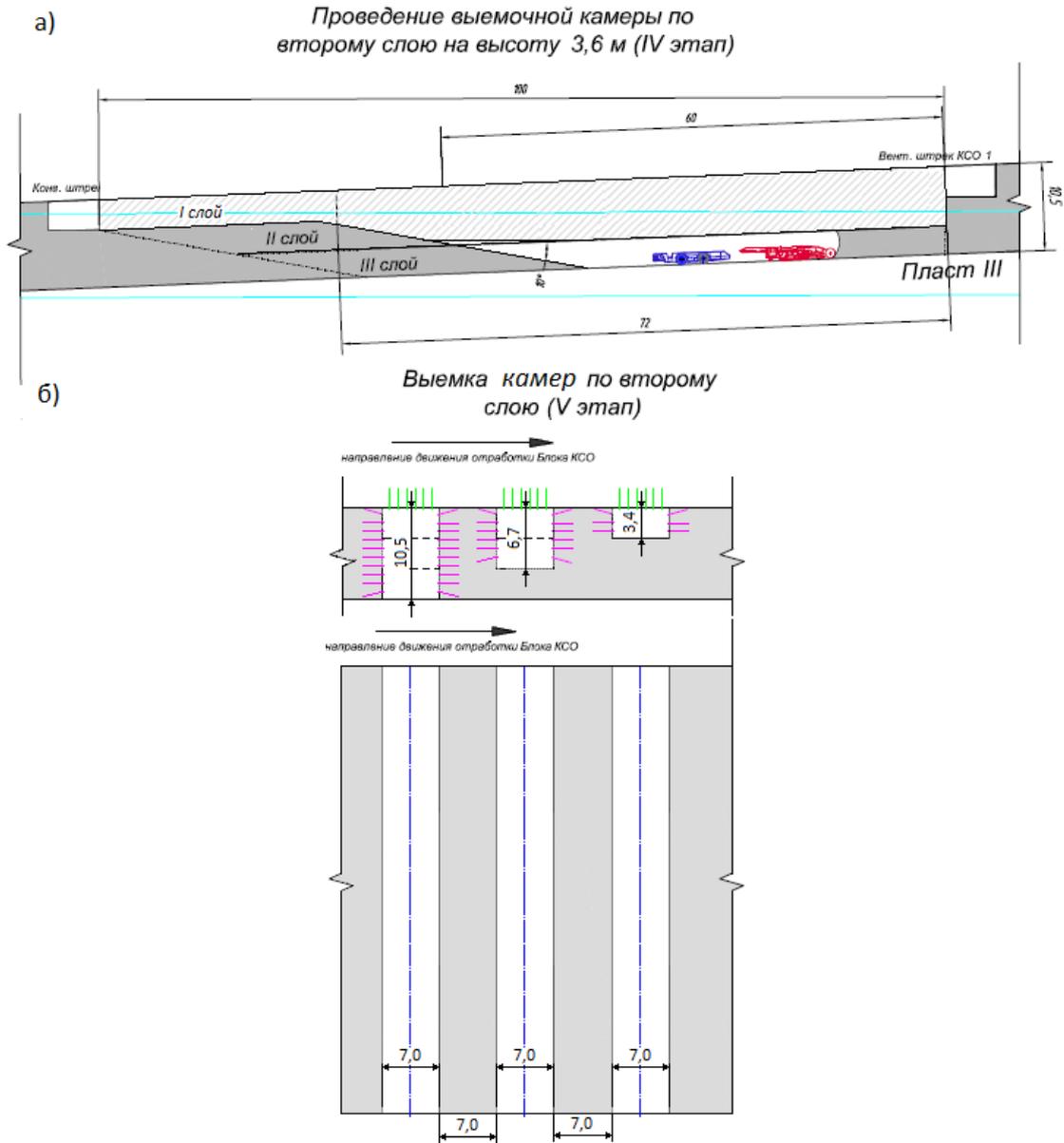


Рис. 3.8. Схема отработки пласта III камерной системой разработки, выемочные блоки КСО 1-1 и КСО 1-2, шахта ЗАО «Распадская-Коксовая»:  
 а - вертикальное сечение по оси камеры; б- поперечные разрезы и план камер

### *3.2.1 Выявление закономерностей распределения параметров напряженного состояния массива горных пород в окрестности двух параллельных камер*

Изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород при взаимном влиянии двух соседних камер в выемочном блоке

показаны на рис. 3.9. Ширина камер и целиков 7 м. Камеры 1-6 приняты в расчёте, как ранее отработанные по схеме, приведенной на рис. 3.8.

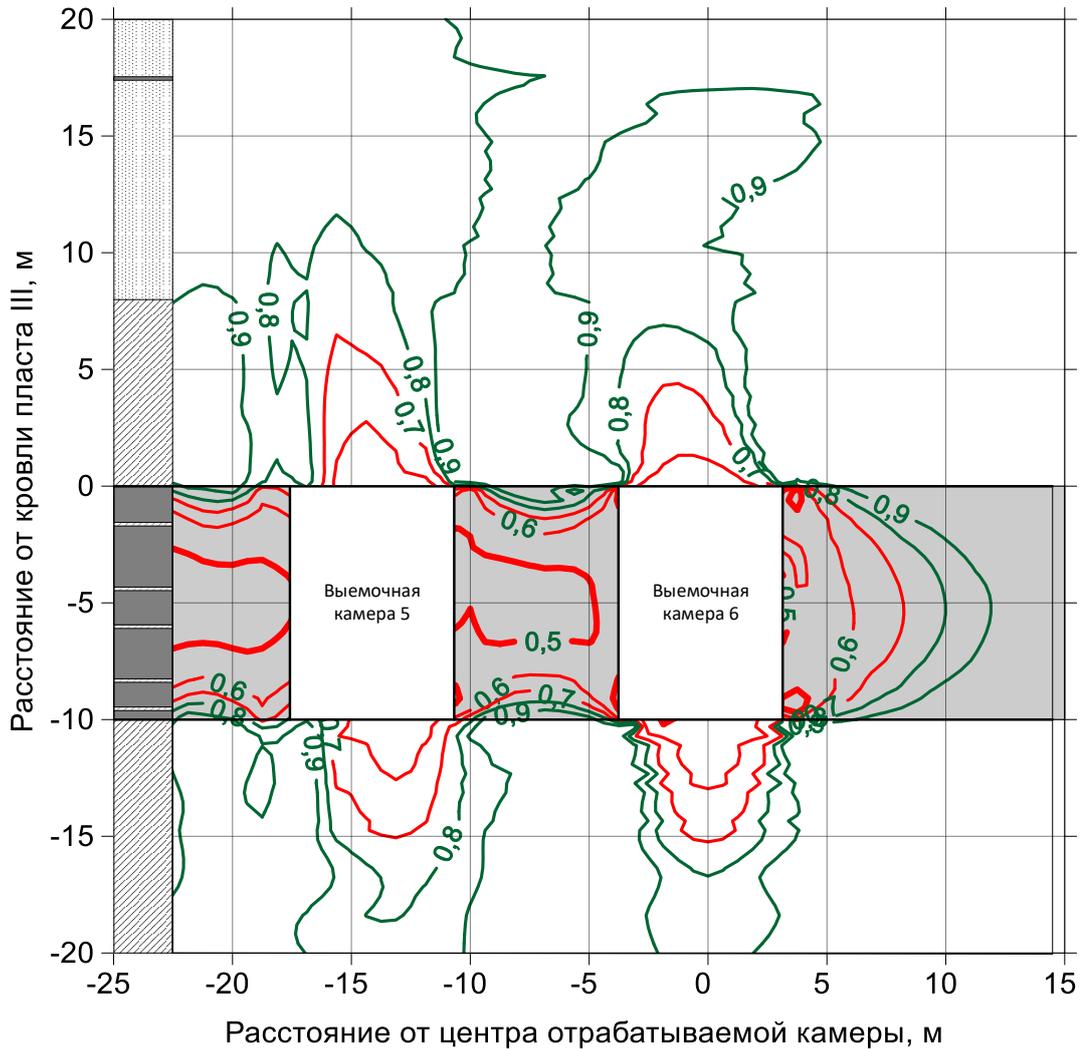


Рис. 3.9. Изолинии распределения комплексного показателя удароопасности при взаимном влиянии двух крайних соседних камер в выемочном блоке

Из рис. 3.9 следует, что угольный целик между камерами 4 (на рисунке не показана) и 5 разрушен, а между камерами 5 и 6 уголь находится в стадии предразрушения: при  $K_y$  в пределах 0,5 - 0,7 уголь или порода на контуре выработки находятся в стадии предразрушения, возможно образование трещин, блоков; при  $K_y < 0,5$  уголь или порода частично разрушены. В боку камеры 6, расположенного в краевой части пласта, уголь также деформирован и разделён трещинами с частичным отжимом угля. Породы кровли над каждой

камерой частично разрушены и требуется их крепление или упрочнение пород кровли пласта.

Причинами разрушения угля в междукамерных целиках являются вертикальные напряжения, которые превышают в 1,3-1,4 напряжения в нетронутом массиве (рис. 3.10), предел прочности угля при сжатии, а также горизонтальные растягивающие напряжения в средней части целика.

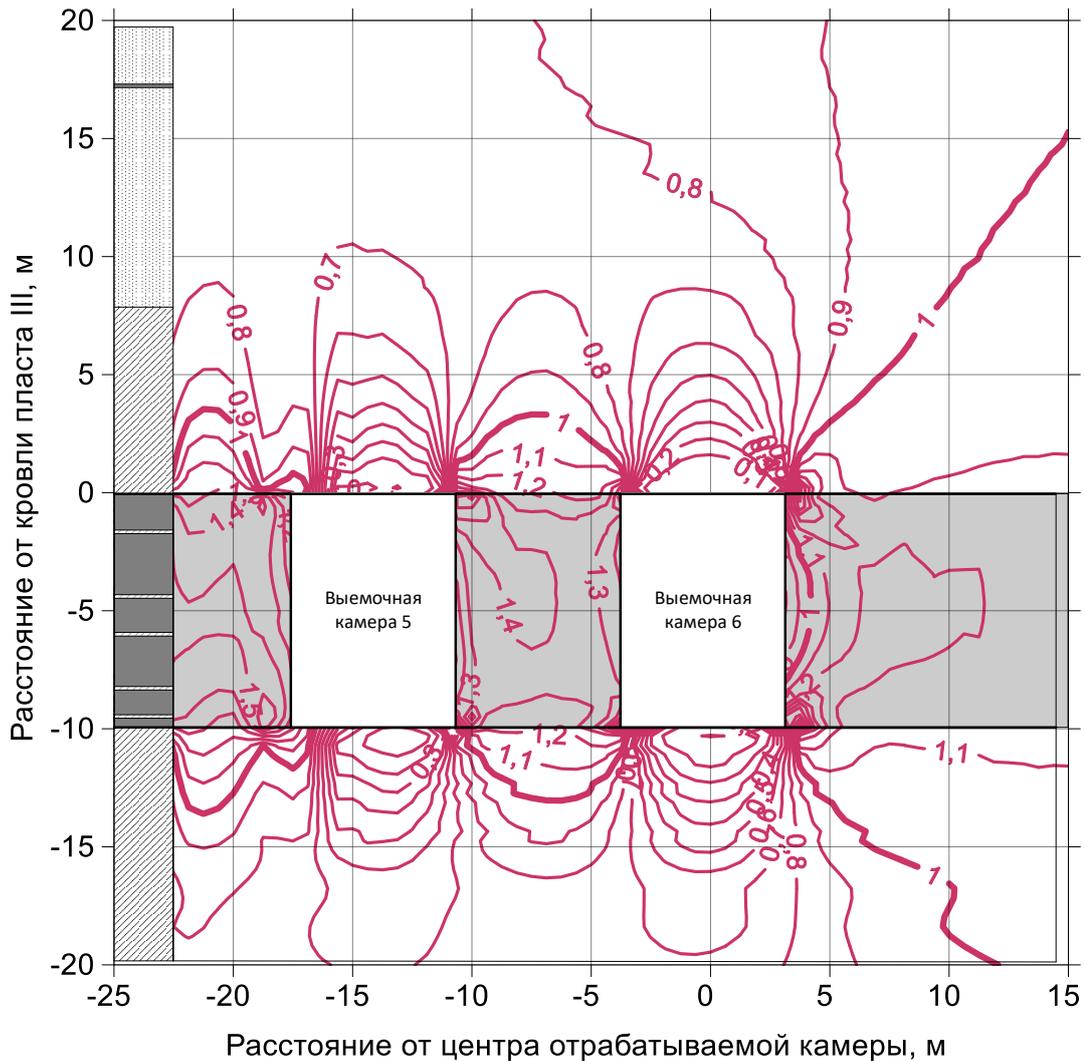


Рис. 3.10. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений при взаимном влиянии двух крайних соседних камер в выемочном блоке

В породах кровли и почвы камер выявлены зоны разгрузки, где вертикальные и горизонтальные сжимающие напряжения переходят в растягивающие (при коэффициенте концентрации вертикальных напряжений  $K_v < 1$  массив разгружен).

### ***3.2.2 Выявление закономерностей распределения параметров напряженного состояния массива горных пород в окрестности системы камер в пределах отдельного блока***

Влияние системы параллельных камер в пределах отдельно выемочного блока проявляется в виде неравномерного разрушения угольных целиков: площади зон разрушения угля в целиках постепенно уменьшаются в направлении от середины к границам блока (рисунок 3.10). Несмотря на высокие концентрации вертикальных напряжений на междукамерные целики (ширина камер и целиков 7 м) над каждой камерой и обрабатываемым блоком в целом происходит разгрузка пород непосредственной кровли, а вес пород основной кровли передаётся на угольный пласт на границах блока (рис. 3.11): при  $K_y$  в пределах 0,5 - 0,7 уголь или порода на контуре выработки находятся в стадии предразрушения, возможно образование трещин, блоков; при  $K_y < 0,5$  уголь или порода частично разрушены.

Следовательно, при расчёте ширины целиков и камер следует учитывать вес непосредственной кровли, а вес пород основной кровли и налегающей породной толщи перераспределять на краевые участки пласта на границах блока.

Аналогичный характер распределения зон разрушения подработанных пород кровли подтверждается результатами исследований, приведёнными в монографии [46]. Авторы [46] предлагают управлять подработанными породами кровли при коротких лавах методом недопущения полного обрушения. В условиях отработки короткими забоями пласта III применение такого метода позволит перераспределить энергию горного давления на краевые участки угольного пласта.

Однако, для выявления закономерностей распределения опорного горного давления и концентраторов потенциальной упругой энергии, способной проявляться в форме горного удара на периферийных участках пласта, потребуется решение пространственной задачи механики горных пород при сложной геометрической форме выработанного пространства и

управлении кровлей целиками (рис. 3.12): ширина камер и целиков 7 м. При коэффициенте концентрации вертикальных напряжений  $K_k < 1$  массив разгружен.

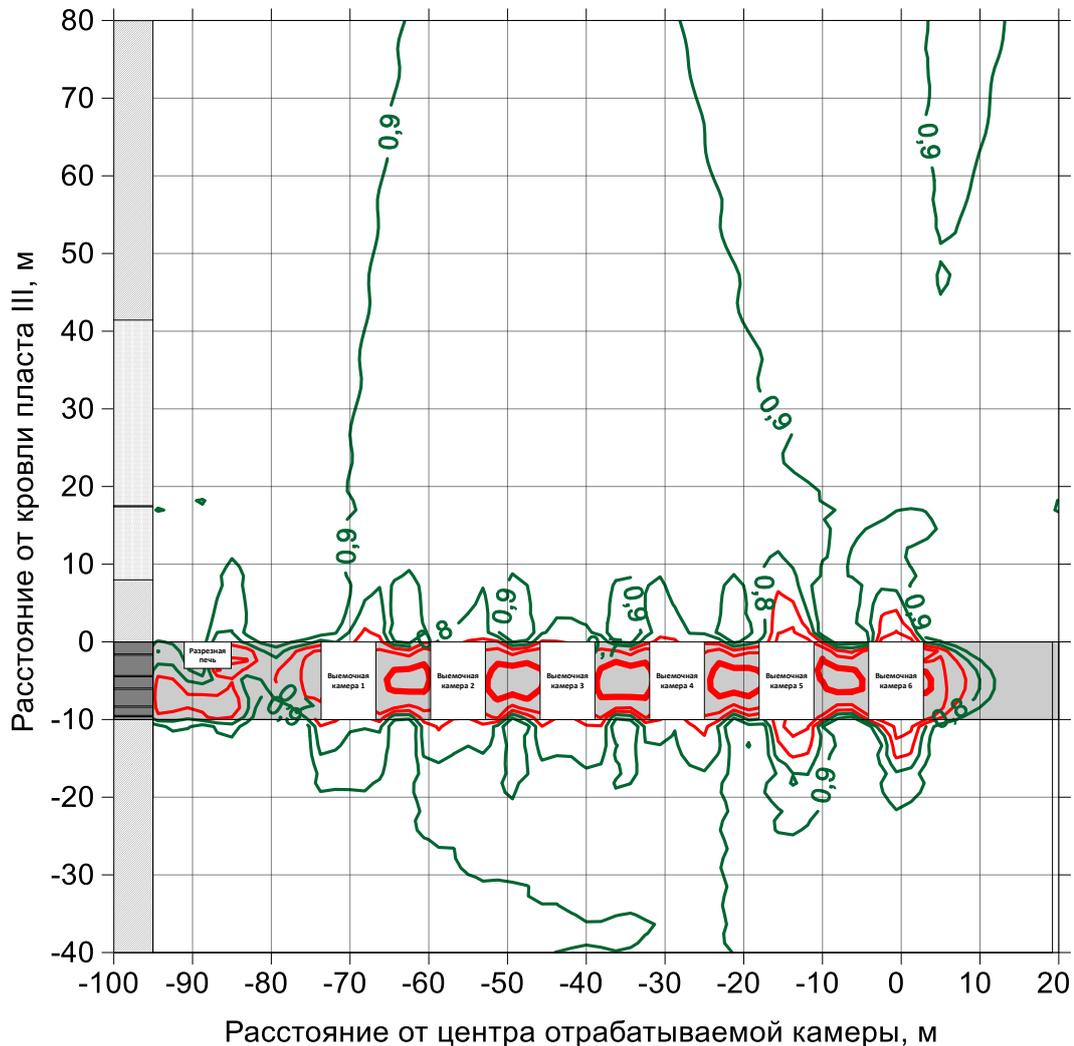


Рис. 3.11. Изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород после обработки 6 камер первого блока

Последовательное накопление потенциальной энергии деформации в угольных целиках и краевых периферийных участках пласта может привести к полному разрушению целиков. В американской горной практике это явление внезапного массового разрушения угля в целиках рассматривается как «коллапс» [2]. Решение пространственной задачи распределения потенциальной энергии в угольных целиках и краевых участках

отрабатываемого короткими забоями пласта изложено в следующей главе настоящей работы.

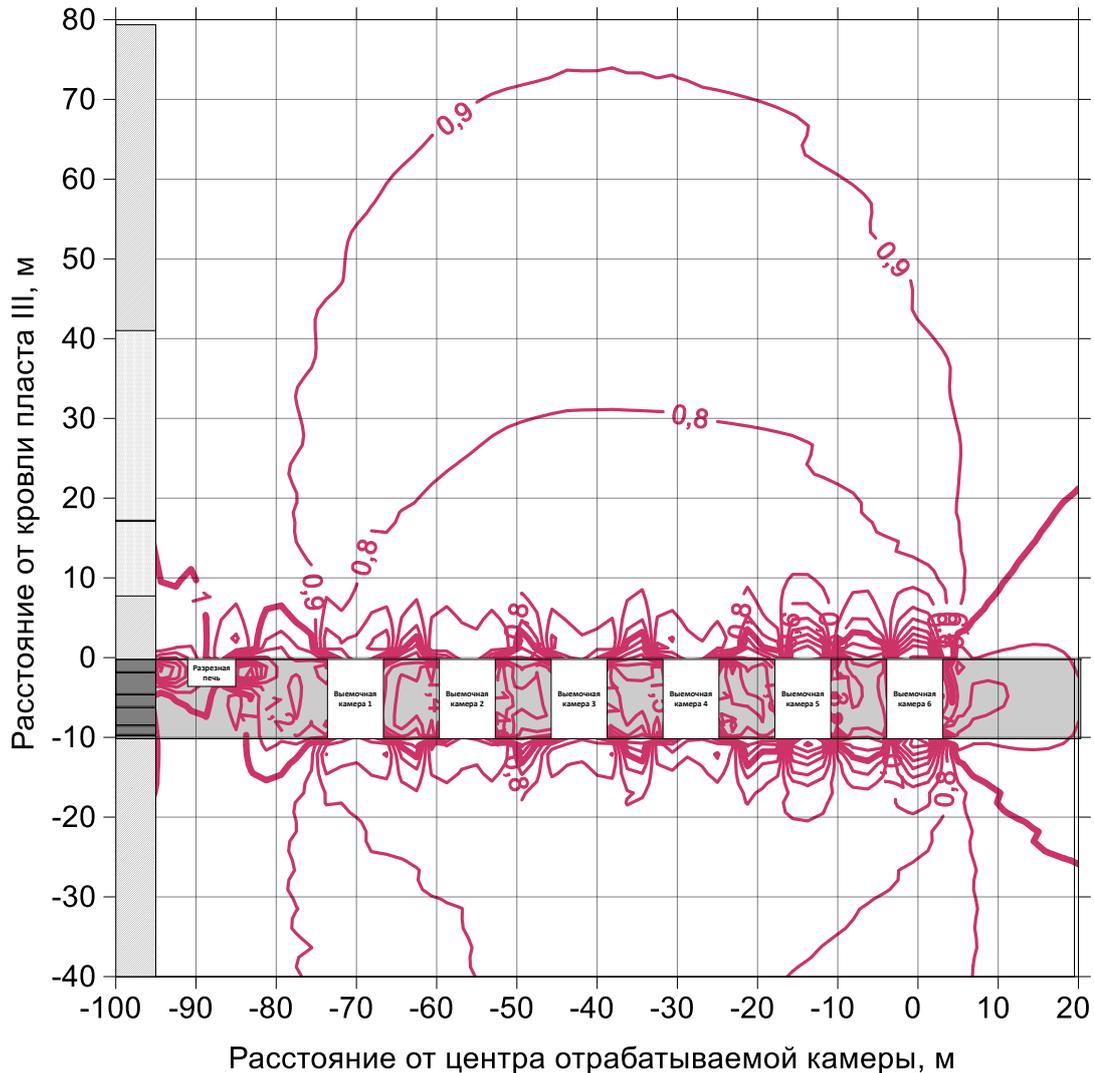


Рис. 3.12. Изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений после отработки 6 камер первого блока

### ***3.2.3 Выявление закономерностей распределения параметров напряженного состояния массива горных пород в окрестности системы параллельных камер в пределах двух соседних блоков, разделённых целиком между блоками***

На рис. 3.13 показано распределение коэффициента концентрации вертикальных напряжений при отработке 12 камер в двух соседних блоках, разделённых целиком между блоками (ширина камер и междукamerных целиков 7 м, ширина целика между блоками 21 м).

Из рисунка следует, что угольные целики между камерами находятся в запредельном состоянии, а целик между блоками сохраняет устойчивость: при коэффициенте концентрации вертикальных напряжений  $K_k < 1$  массив разгружен. Ожидается разрушение угля на сопряжении боков целика и пород кровли и почвы, где возможен отжим угля.

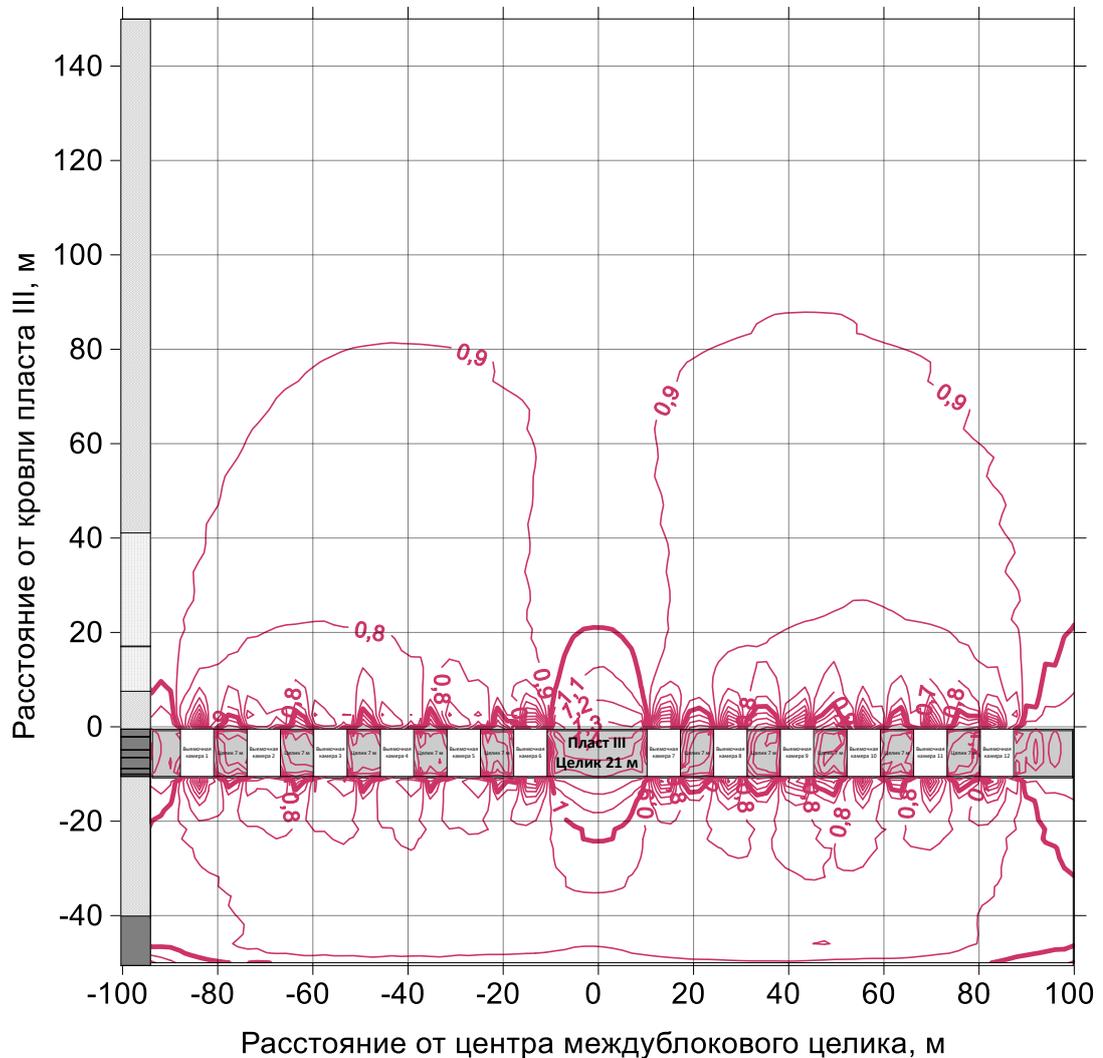


Рис. 3.13. Изолинии распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений после отработки 12 камер первого и второго блоков

Как следует из графиков рис. 3.13 в породах кровли формируется общий свод естественного равновесия, который разделён на два локальных свода целиком между блоками. В пределах локальных сводов породы кровли частично разгружены. Зоны разгрузки выявлены и в породах почвы.

Несущими элементами камерной системы разработки являются междукамерные целики, целик между соседними блоками и краевые участки угольного пласта.

Распределение вертикальных напряжений в окрестности угольных целиков и камер в двух соседних блоках характеризуется частичной разгрузкой пород кровли над камерами и целиками каждого блока и повышенной концентрацией напряжений над угольным целиком между блоками, а также над краевыми участками угольного пласта (см. рис. 3.13). Это подтверждает возможность управления горным давлением при камерной системе разработки методом недопущения полного обрушения пород кровли [46]. Однако, в угольном целике между блоками и в краевых участках пласта рекомендуется проводить противоударные мероприятия с целью снижения потенциальной энергии деформаций угля.

По результатам анализа графиков распределения вертикальных и горизонтальных напряжений проведена оценка риска возникновения горных ударов в угольном пласте. Наиболее вероятными концентраторами упругой энергии являются угольные целики между камерами, где вертикальные напряжения  $\sigma_y=11,0$  МПа при коэффициенте концентрации вертикальных напряжений 1,4 и глубине разработки 370 м. При прочности угля  $\sigma_{сж}=10$  МПа междукамерные целики в условиях одноосного сжатия (отношение ширины целика к высоте 0,7) разрушаются, то есть риск возникновения горного удара в междукамерных целиках минимальный.

Вероятность формирования концентраторов напряжений повышается в краевых участках пласта, где вследствие формирования объёмного напряжённого состояния и увеличения объёмной прочности угля возникает опорное горное давление. На этих участках рекомендуется проводить противоударные мероприятия.

На рис. 3.14-3.15 приведены изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород в междублоковом целике после отработки 12 камер первого и второго блоков.

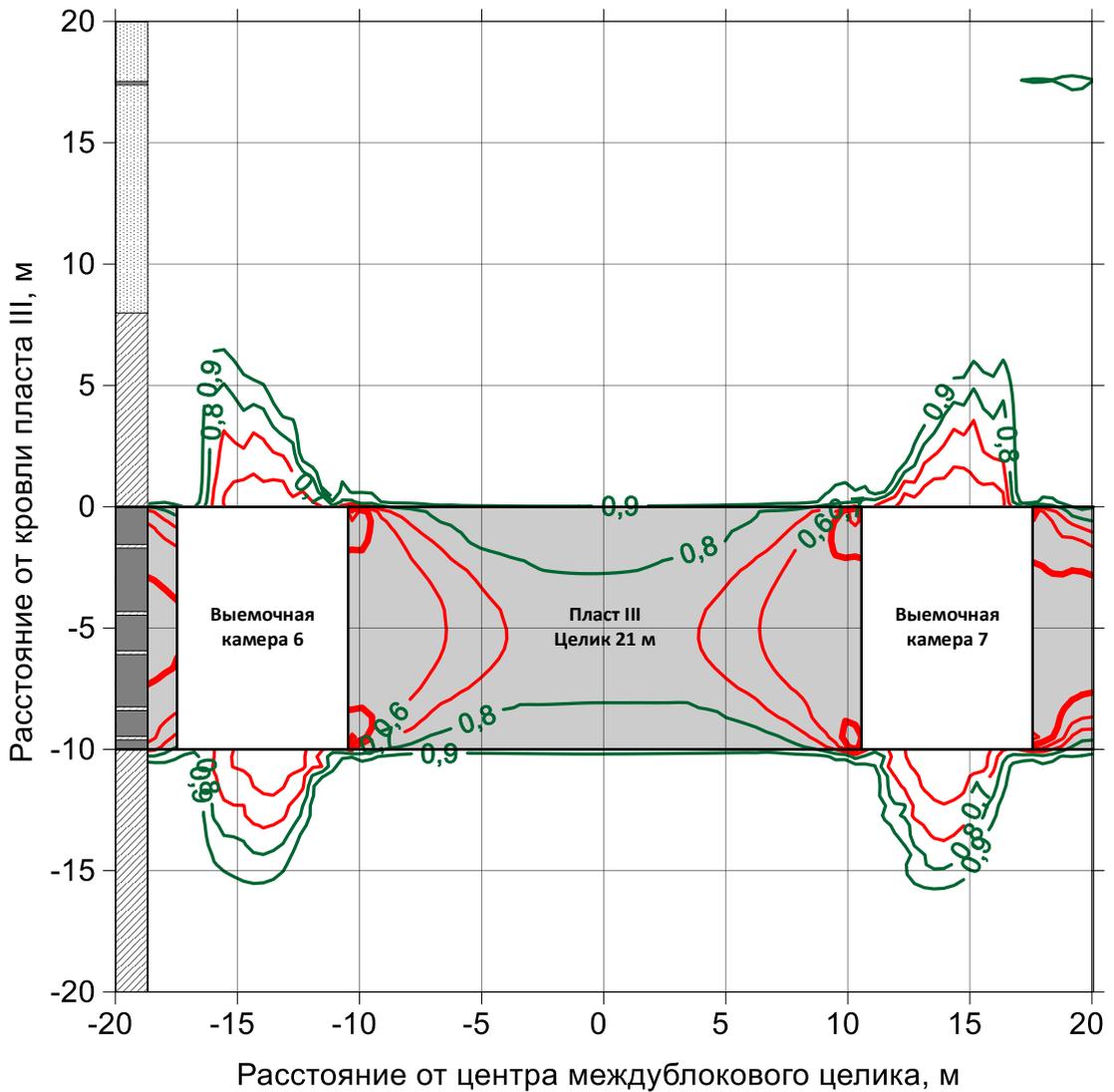


Рис. 3.14. Изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород в междублоковом целике после отработки 12 камер первого и второго блоков

Устойчивость междублокового целика шириной 21 м, подтверждается наличием неразрушенного ядра шириной 7-8 м (рисунки 3.14, 3.15): при  $K_y$  в пределах 0,5 - 0,7 уголь или порода на контуре выработки находятся в стадии предразрушения, возможно образование трещин, блоков; при  $K_y < 0,5$  уголь или порода частично разрушены (ширина камер и междуканальных целиков 7 м, ширина целика между блоками 21 м).

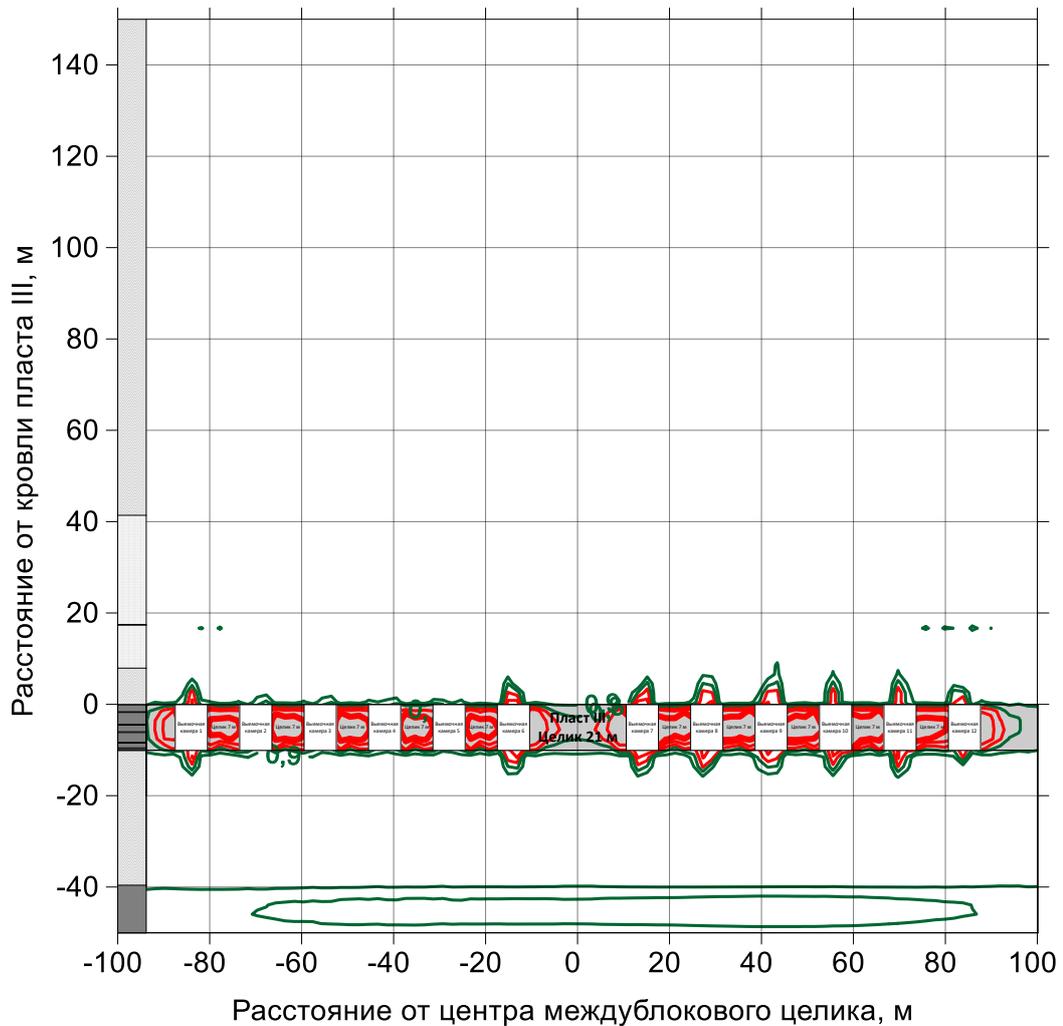


Рис. 3.15. Изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород после отработки 12 камер первого и второго блоков

### 3.3 Выводы

По результатам моделирования напряженного состояния массива горных пород при камерной и камерно-столбовой системах разработки мощного пологого угольного пласта выявлены следующие отличительные особенности проявления горного давления при камерно-столбовой и камерной системах разработки склонных к горным ударам мощных угольных пластов:

1) При камерно-столбовой и камерной системах разработки после отработки блока в породах кровли формируется общий свод естественного равновесия. Высота свода при камерно-столбовой системе разработки в 2,3 раза больше, чем при камерной. Максимальный коэффициент концентрации

вертикальных напряжений в краевых участках угольного пласта на границе блока при камерно-столбовой системе на 11% больше, чем при камерной. При ширине отрабатываемого блока до 80 м камерной системой разработки коэффициент концентрации вертикальных напряжений уменьшается до 0,9 над междуканнерными целиками и увеличивается до 1,4 над междублоковыми.

2) При послойной выемке пласта от кровли к почве камерно-столбовой системой разработки несущая способность междуканнерных столбчатых целиков высотой 3-10 м в середине блока уменьшается в 1,25-1,50 раза. 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.

3) При камерной системе разработки несущая способность ленточных целиков в условиях двухосного напряженного состояния увеличивается по параболической зависимости от коэффициента 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  $0,5 \sigma_{сж}$ .

## **ГЛАВА 4. ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ КОРОТКИМИ ЗАБОЯМИ СКЛОННЫХ К ГОРНЫМ УДАРАМ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

В настоящей главе разработан метод оперативного определения пространственного положения локальных концентраторов вертикальных напряжений, позволяющий сократить область исследований в краевой части пласта при выявлении участков категории «ОПАСНО» и объём проведения противоударных мероприятий. Выполнено геомеханическое обоснование параметров технологии отработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов.

### **4.1 Разработка метода оперативного определения положения локальных концентраторов вертикальных напряжений в отработываемом короткими забоями угольном пласте**

В соответствии с требованиями «Правил безопасности в угольных шахтах», раздел XIII, на угольных пластах, склонных к горным ударам, необходимо осуществлять прогноз удароопасности, проведение мероприятий по предотвращению горных ударов и оценку эффективности этих мероприятий. Основные способы и средства проведения мероприятий регламентируются действующими нормативными документами Ростехнадзора и рекомендациями ВНИМИ [2, 9, 12, 89, 133 и др.]. Однако, как отмечается в последних работах учёных ВНИМИ, специалистов и практиков горного производства [2, 7, 12, 15, 16, 18, 33, 102], интенсификация процессов ведения горных работ, увеличение глубины разработки и скорости подвигания очистных и подготовительных забоев, попытки отработки короткими забоями склонных к горным ударам угольных пластов на глубине более 200 м привели к снижению эффективности традиционных противоударных мероприятий и росту риска возникновения горных ударов. Авторы утверждают, что

необходимо научное обоснование новых методов прогноза удароопасности и технических средств проведения мероприятий, обеспечивающих безопасность горных работ.

Согласно Инструкции [133] при отработке склонных к горным ударам и угрожаемых угольных пластов регламентированы способы и схемы проведения прогноза удароопасности угольных пластов в очистных и подготовительных забоях при каждом цикле выемки угля. Это приводит к необходимости остановки забоев на период проведения прогноза и профилактических противоударных мероприятий. Однако, результаты прогноза по выходу буровой мелочи или геофизическими методами не всегда позволяют установить наличие в краевой части пласта категории «опасно», что подтверждается графиками распределения параметра  $F$  (см. рис. 2.8, 2.9) и объёма буровой мелочи (см. рис. 2.10 и 2.10).

По результатам исследований ВНИМИ и других авторов [2, 9, 12, 33, 42, 43, 102, 133 и др.] наиболее опасными для проявления горных ударов являются выступы краевых участков пласта, пересечения и сопряжения выработок, поэтому для определения пространственного положения участков с максимальным вертикальным напряжением необходимо учитывать топологию всех горных выработок в пределах отрабатываемого пласта.

Общая постановка задачи расчёта нагрузки, действующей на распределённые в отрабатываемом удароопасном пласте целики и краевые участки угольного пласта, приведена в монографии И.М. Петухова и А.М. Линькова [93] в виде следующей зависимости:

$$P_n = \frac{\gamma HS}{1 - \frac{S_b}{S}}, \quad (4.1)$$

где  $P_n$  - нагрузка, действующая на неотработанные участки пласта;  $\gamma$  - объёмный вес пород;  $H$  - глубина разработки;  $S$  - общая площадь выемочного блока (участка);  $S_b$  - отработанная площадь (камер, заходок, штреков и других выработок).

Недостатком формулы (4.1) является отсутствие параметров, характеризующих закономерность распределения нагрузки  $P_n$  по площади неотработанных участков пласта, в том числе угольных целиков. Как следует из формулы (4.1), для её реализации необходимо учитывать пространственное положение и площадь  $S_b$  горных выработок.

Для разработки метода оперативного определения положения локальных концентраторов вертикальных напряжений в обрабатываемом короткими забоями угольном пласте при сложной форме выработанного пространства и угольных целиков рассмотрен алгоритм функции единичного равного влияния, предложенный в монографии Г. Кратча [96], в которой обоснована расчётная схема определения величин смещений земной поверхности с учетом форм и размеров выработанного пространства (рис. 4.1).

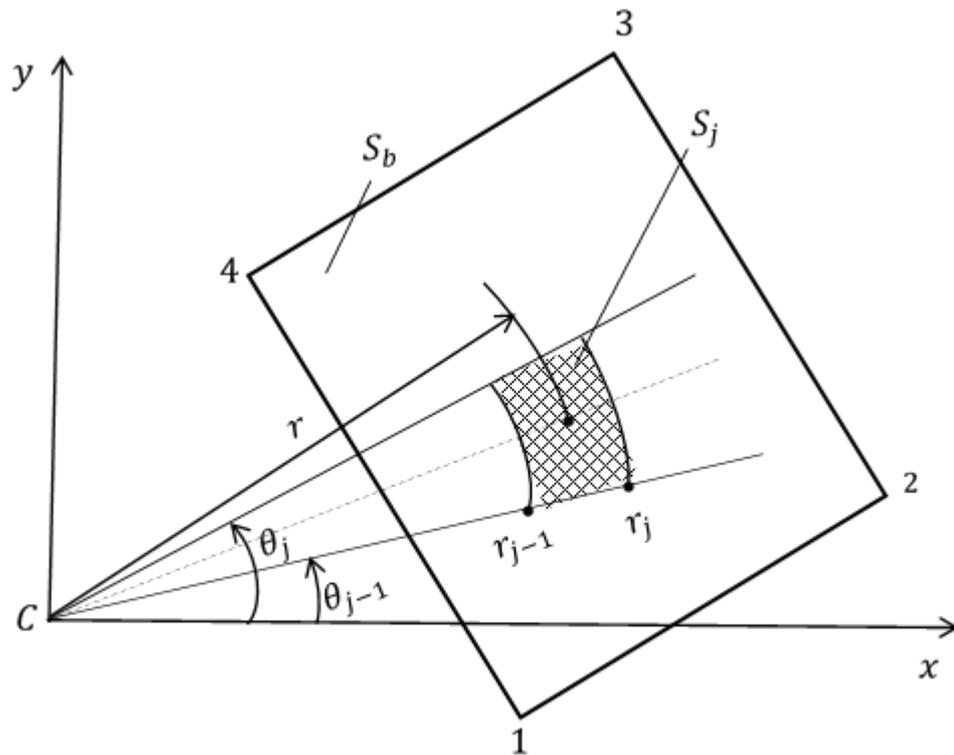


Рис. 4.1. Расчетная схема определения смещений массива горных пород в точке  $C$  под влиянием выработанного пространства [96]

Рассматривается влияние очистного выработанного пространства  $S_b$  на величины смещений земной поверхности окрестности в точке  $C$ . Площадь

выработанного пространства разделена на элементарные участки  $s_j$ , положение которых определяется полярными координатами  $r_j$  и  $\theta_j$ .

Вес подработанных горных пород кровли пласта над каждым элементарным участком оказывает влияние на величины сдвижений  $v_j$  в точке  $C$ . Сумму смещений  $V$  в точке  $C$  в работе [96] предлагается определять по формуле

$$V = a_0 \iint_{S_b} r \psi(r, a_1) dr d\theta, \quad (4.2)$$

где  $a_0, a_1$  - эмпирические параметры, зависящие от свойств горных пород, глубины разработки и других горно-геологических и горнотехнических параметров;  $\psi(r, a_1)$  - функция влияния  $s_j$  элемента выработанного пространства на величины сдвижений горных пород.

Для интегрирования по формуле (4.1) в работе [96] предлагается применить интеграционную сетку, в которой выделены зоны и секторы равного влияния площадей выработанного пространства.

Учитывая общий характер деформирования подработанных горных пород и земной поверхности, для определения зависимости распределения давления подработанных зависящих пород кровли  $P_n$  в формуле (4.1) на угольные целики и краевые участки пласта предлагается интеграционная сетка равного влияния площадей выработанного пространства, представленная на рис. 4.2.

Определение параметров интеграционной сетки на рис. 4.2 осуществляется с учётом следующих условий:

- максимальный размер сетки по линии простирания пласта принят равным  $2l_{пр}$ , где  $l_{пр}$  - ширина зоны опорного горного давления, определяется по номограмме согласно [9, 102, 133];

- влияние угла наклона  $\alpha_{пад}$  отрабатываемого пласта учитывается изменением размеров осей полуэллипсов интеграционной сетки по падению  $l_{пад}$  и восстанию  $l_{вос}$  пласта:

$$l_{пад} = \frac{l_{пр}}{\cos \alpha_{пад}}; \quad (4.3)$$

$$l_{\text{вос}} = l_{\text{пр}} \cos \alpha_{\text{пад}}; \quad (4.4)$$

- деление площади интеграционной сетки на локальные элементы, ограниченные полярными радиусами и дугами полуэллипсов, осуществляется таким образом, чтобы влияние веса зависящих пород кровли над каждым элементом было одинаковым (площади равного влияния) на вертикальные суммарные напряжения в центре интеграционной сетки (точка  $C$  на рис. 4.2);

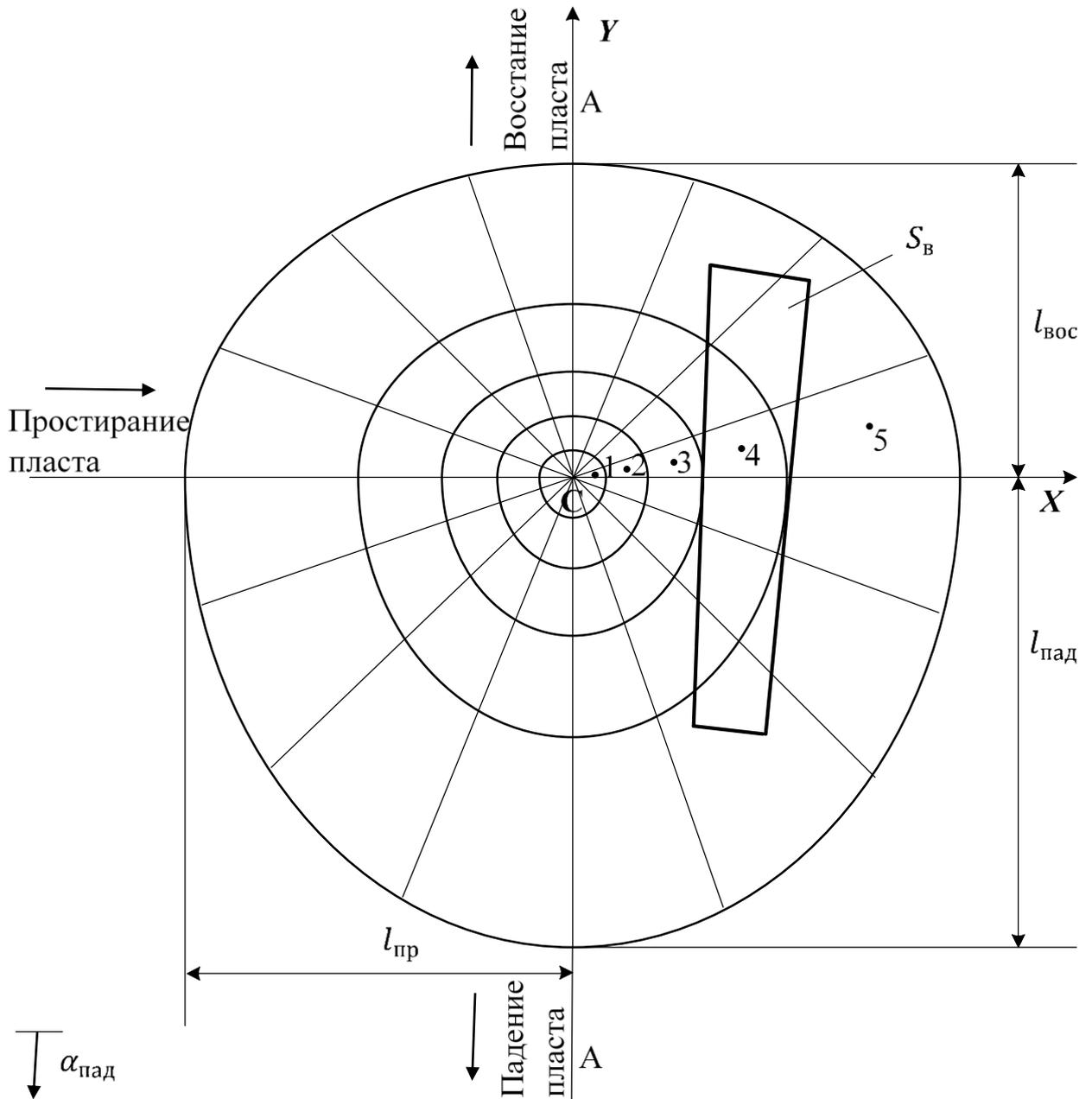


Рис. 4.2. Схема построения интеграционной сетки равного влияния площадей горных выработок для определения давления подработанных зависящих пород кровли в центре сетки (точка  $C$ )

- дополнительные вертикальные напряжения  $\sigma_j^{\text{доп}}$  в центре интеграционной сетки (точка  $C$  на рис. 4.2) под давлением пород кровли в пределах площади  $s_j$  элемента с заданными координатами, по аналогии с (4.2) определяются по формуле:

$$\sigma_j^{\text{доп}} = a_0 \iint r_j \psi(r_j, \theta_j, a_1, a_2) dr_j d\theta_j, \quad (4.5)$$

где  $r_j, \theta_j$  – полярные координаты элемента площадью  $s_j$ ;  $a_0, a_1, a_2$  – эмпирические коэффициенты;

- для определения эмпирических коэффициентов и вида функции (4.5) используются следующие граничные условия: за пределами интеграционной сетки дополнительные вертикальные напряжения  $\sigma_j^{\text{доп}} = 0$ , а полные – равны  $\gamma H$ ; при расположении центра интеграционной сетки  $C$  в краевой части пласта в средней части длинного очистного забоя (на рис. 4.2 положение длинного забоя показано линией А-А) дополнительные вертикальные напряжения  $\sigma_j^{\text{доп}} = (k_v - 1)\gamma H$ , а полные – равны  $k_v \gamma H$ , где  $k_v$  – коэффициент концентрации вертикальных напряжений в краевой части угольного пласта бесконечно длинного очистного забоя ( $k_v$  принимается в соответствии с действующими методическими указаниями ВНИМИ и классом основной кровли по обрушаемости).

Для упрощения процедуры оперативного определения вертикальных напряжений в центре интеграционной сетки рекомендуется разделить площадь всей интеграционной сетки на элементарные площадки таким образом, чтобы влияние веса пород кровли над каждой площадкой было одинаковым. Это достигается посредством выбора общего вида функции, соответствующей зависимости распределения давления пород над элементарной выработкой. В качестве общего вида функции влияния принято уравнение эпюры опорного горного давления.

По результатам анализа известных аналитических решений и экспериментальных исследований зависимостей распределения опорного горного давления на пологих угольных пластах на рис. 4.3 приведены графики

полных вертикальных напряжений. Учитывая, что горный удар происходит при предельном упругом состоянии угольного пласта для рассмотрения приняты графики упругого деформирования угля, то есть в краевой части пласта зона упругопластического состояния отсутствует.

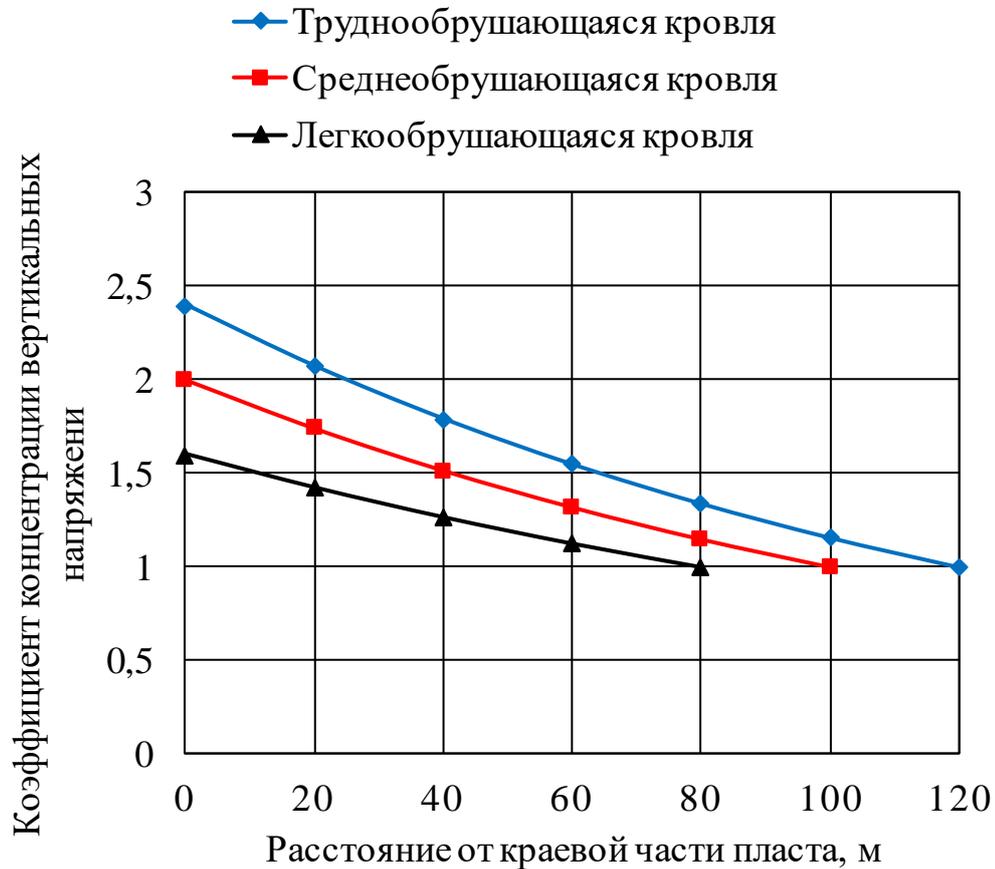


Рис. 4.3. Эпюры опорного горного давления при упругом деформировании угольного пласта

По результатам численного моделирования и анализа графиков распределения коэффициентов концентрации вертикальных напряжений, приведённых на рисунках в главе 3, а также в работах [49, 52, 97 и др.], без учёта разрушения угля в краевой части пласта, получен следующий общий вид зависимости коэффициентов концентрации вертикальных напряжений при упругом деформировании угля [45]:

$$k_{Bj} = \frac{k_{B0}}{e^{ar_j}}, \quad (4.6)$$

где  $k_{vj}$  – коэффициент концентрации вертикальных напряжений на эпюре опорного горного давления в  $j$ -той точке (рис. 4.3);  $k_{в0}$  – максимальный коэффициент концентрации вертикальных напряжений в краевой части пласта, рекомендуется принимать  $k_{в0} = 1,5-4,0$ ;  $r_j$  – расстояние от краевой части пласта до  $j$  – той точки на эпюре распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений (рис. 4.3);  $a$  – эмпирический коэффициент.

Учитывая, что величины дополнительных вертикальных напряжений по мере удаления от краевой части пласта стремятся к нулю, предлагается принять величину коэффициента концентрации вертикальных напряжений на дальней границе нисходящего участка графика опорного горного давления равной единице. Это соответствует  $r_j = l_{пр}$ , то есть ширине зоны опорного горного давления.

В соответствии с принятыми граничными условиями и шириной зоны опорного горного давления величину коэффициента  $a$ , после преобразования формулы (4.6), предлагается определять по формуле:

$$a = \frac{1}{l_{пр}} \ln k_{в0}. \quad (4.7)$$

Для определения веса пород кровли для одного сектора (рис. 4.2) проведено интегрирование зависимости (4.6) в пределах заданного интервала расстояния на эпюре опорного горного давления ( $r_j - r_{j-1}$ ) и угла  $\theta$

$$q_j = \gamma H k_{в0} \theta \int_{r_{j-1}}^{r_j} \frac{r}{e^{ar}} dr = \gamma H k_{в0} \left[ e^{-ar_j} \left( \frac{r_j}{a} - \frac{1}{a^2} \right) - e^{-ar_{j-1}} \left( \frac{r_{j-1}}{a} - \frac{1}{a^2} \right) \right], \quad (4.8)$$

где  $j$  – порядковый номер интервала эпюры полных вертикальных напряжений на эпюре опорного горного давления;  $r_{j-1}$ ,  $r_j$  – координаты начала и конца элементарной площадки на рис. 4.1;  $q_j$  – вес пород кровли после отработки элементарной площадки в границах одного сектора.

При  $r_{j-1} = 0$ ,  $r_j = l_{пр}$  полный вес пород кровли на эпюре вертикальных напряжений вычисляется по формуле:

$$Q_o = \gamma H k_{в0} \theta \left[ e^{-al_{пр}} \left( \frac{l_{пр}}{a} - \frac{1}{a^2} \right) - \frac{1}{a^2} \right]. \quad (4.9)$$

Для создания интеграционной сетки с распределением в ней зон равного влияния и упрощения процесса интегрирования функции (4.6) полный вес пород кровли на эпюре вертикальных напряжений в пределах отдельного сектора делится на заданное количество зон  $M$

$$q_o = \frac{Q_o}{M}.$$

На следующем этапе согласно (4.9) составляется уравнение вида:

$$e^{-ar_j} \left( \frac{r_j}{a} - \frac{1}{a^2} \right) - e^{-ar_{j-1}} \left( \frac{r_{j-1}}{a} - \frac{1}{a^2} \right) = \frac{1}{M} \left[ e^{-al_{\text{пр}}} \left( \frac{l_{\text{пр}}}{a} - \frac{1}{a^2} \right) - \frac{1}{a^2} \right]. \quad (4.10)$$

В уравнении (4.10) неизвестными являются полярные координаты дальней границы площади элементарного участка  $s_j$  при известных значениях координат ближней границы  $r_{j-1}$ . Решение уравнения проведено методом итераций.

В качестве примера в табл. 4.1 приведены безразмерные координаты  $\frac{r_i}{l_{\text{пр}}}$  для разного количества точек  $M$  на луче интеграционной сетки (для расчёта принята ширина зоны опорного горного давления  $l_{\text{пр}} = 120\text{м}$  для условий пласта III).

Аналогичные таблицы могут быть получены при разном количестве точек на луче интеграционной сетки. Количество точек зависит от формы и размеров выработок, глубины разработки, необходимой точности расчёта. При увеличении количества точек точность определения положения и величины локальных концентраторов вертикальных напряжений в обрабатываемом угольном пласте повышается.

Таблица 4.1. Безразмерные полярные координаты на луче интеграционной сетки

Параметры	Номера точек и их безразмерные координаты									
Номер точки	1	2	3	4	5					
Координаты	0,049	0,199	0,353	0,521	0,805					
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 соответствии с Инструкцией [9] и рекомендациями [102] определяется ширина зоны опорного горного давления, которая корректируется согласно (4.2) и (4.3) с учетом угла падения пласта.

2) Подготавливается план горных выработок.

3) Согласно рис. 4.2 в масштабе плана горных выработок проводится построение интеграционной сетки. Координаты точек сетки определяются по формуле (4.10) или табл. 4.1. Подсчитывается общее количество точек интеграционной сетки  $N$ .

4) Центр интеграционной сетки (точка  $C$ ) совмещается на плане горных выработок с точкой, в окрестности которой требуется определить вертикальные напряжения в угольном пласте (рис. 4.4).

5) Осуществляется визуальный подсчет количества точек  $n$  интеграционной сетки, оказавшихся в контуре выработок.

6) Вычисляются вертикальные напряжения в окрестности точки  $C$

$$\sigma_{\text{в}}^{\text{с}} = k_{\text{кр}} \gamma H \frac{N}{N-n}, \quad (4.11)$$

где  $k_{\text{кр}}$  - коэффициент, учитывающий тип основной кровли по обрушаемости, согласно [134] принимается равным 0,8 для легкообрушающейся, 1,0 - среднеобрушающейся, 1,2 - труднообрушающейся кровли.

Зависимость (4.11) можно использовать для определения вертикальных напряжений при отработке пологих и наклонных угольных пластов длинными и короткими очистными забоями и произвольной форме выработанного пространства.

7) Интеграционная сетка перемещается в пределах плана горных выработок и для каждой точки выполняются операции, указанные в пп. 4-6.

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

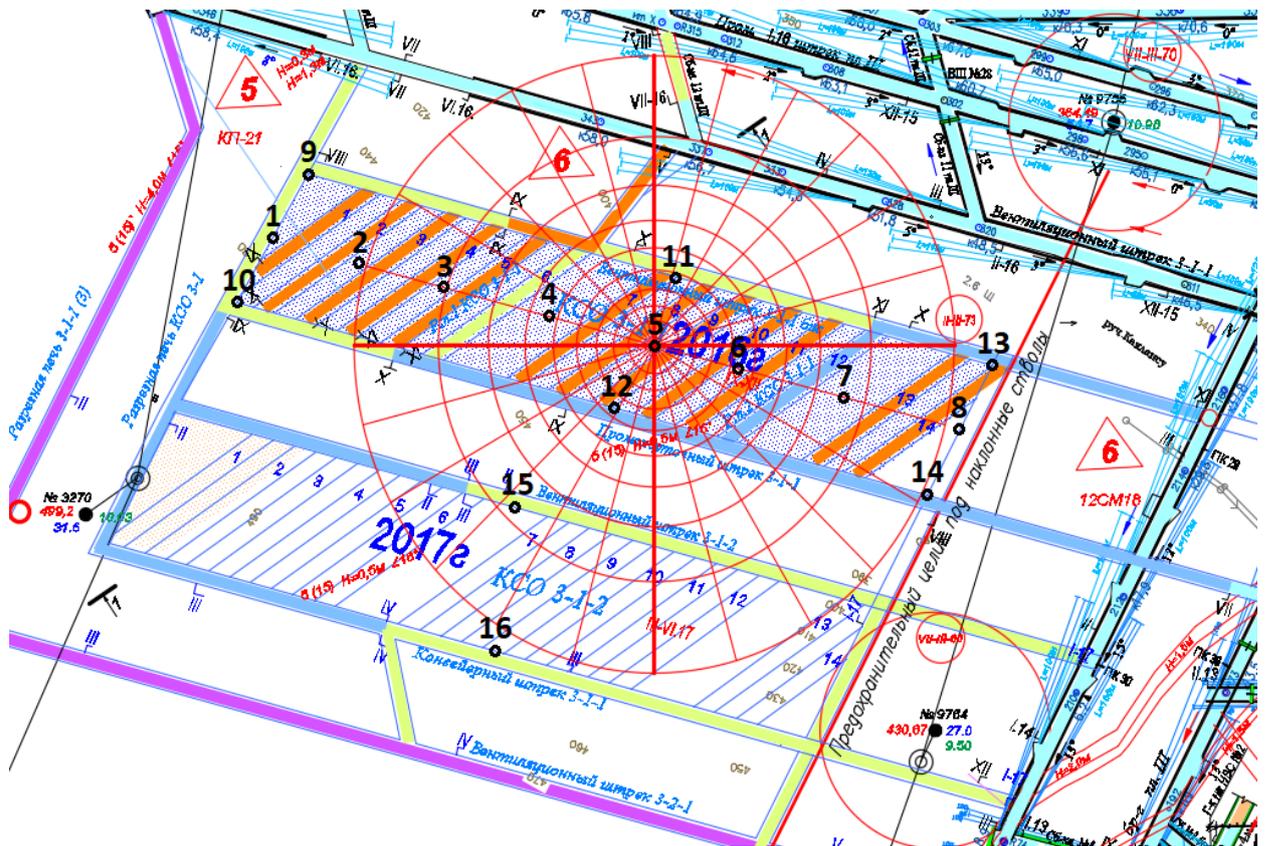


Рис. 4.4. Выкопировка из плана горных выработок пласта III шахты ЗАО «Распадская-Коксовая» с расположением интеграционной сетки

9) По величинам вертикальных напряжений  $\sigma_B^C$  в окрестности точки С определяется состояние угольного массива и обосновывается необходимость проведения мероприятий по проведению противоударных мероприятий или упрочнения угольного массива в краевой части пласта.

Согласно теории Динника, под влиянием вертикальных напряжений в массиве горизонтальные напряжения, которые с учетом расстояния от точки С до контура выработки предлагается определять их по формуле

$$\sigma_{\Gamma}^C = \sigma_B^C \frac{\nu l}{(1-\nu) h}, \quad (4.12)$$

где  $\nu$  - коэффициент Пуассона;  $l$  – расстояние от бока выработки до точки С в глубине угольного массива, м;  $h$  - высота выработки, м.

По результатам анализа распределения вертикальных и горизонтальных напряжений в главе 3, рекомендуется принимать  $l \leq h$ .

Рассматривая вертикальные ( $\sigma_B^C$ ) и горизонтальные ( $\sigma_r^C$ ) напряжения как главные, вычисляются нормальные и касательные напряжения в окрестности точки  $C$

$$\sigma_{\text{ср}}^C = 0,5(\sigma_B^C + \sigma_r^C);$$

$$\tau^C = 0,5(\sigma_B^C - \sigma_r^C).$$

Предельные касательные напряжения  $\tau_{\text{пред}}^C$  вычисляются по паспорту прочности по формуле (2.1).

Комплексный показатель удароопасности в окрестности точки  $C$  определяется по формуле

$$K_y^C = 0,01 K \frac{\tau_{\text{пред}}^C}{\tau^C}.$$

Проводится анализ величины комплексного показателя удароопасности:

- при  $K_y^C > 1$  – угольный пласт находится в упругом состоянии, происходит накопление упругой энергии, необходимо проводить мероприятия по прогнозу и выявлению категории опасности;

- при  $0,01 K < K_y^C \leq 1$  - угольный пласт находится в стадии перехода от упругого в упругопластическое состояние, категория удароопасности «ОПАСНО», необходимо проводить противоударные мероприятия в пределах защитной зоны, ширина которой определяется согласно [133] с учётом результатов измерения аппаратурой АЭШ-1 показателя напряженности  $F$ .

- при  $K_y^C \leq 0,01 K$  угольный пласт находится в стадии разрушения, категория удароопасности «НЕОПАСНО», противоударные мероприятия не проводятся, осуществляется упрочнение боков выработки крепью или клеевыми составами.

В качестве примера, в табл. 4.2 приведены результаты расчёта вертикальных напряжений, а на рис. 4.5 указаны участки для первоочередного проведения прогноза зон «ОПАСНО» (в окрестности точек 3, 5, 6). В окрестности остальных точек такой прогноз не требуется.

Как следует из анализа полученных результатов, объём работ по прогнозу и проведению противоударных мероприятий в пределах

отрабатываемого участка пласта может быть существенно сокращён, что приведёт к снижению непроизводительных материальных и трудовых затрат.

Таблица 4.2. Вертикальных напряжения, МПа

Номер точки на плане	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Вертикальные напряжения	23,2	24,0	24,0	22,9	25,0	24,7	21,2	22,8	23,8	20,5	25,9	26,9	20,9	23,8	25,0	26,4

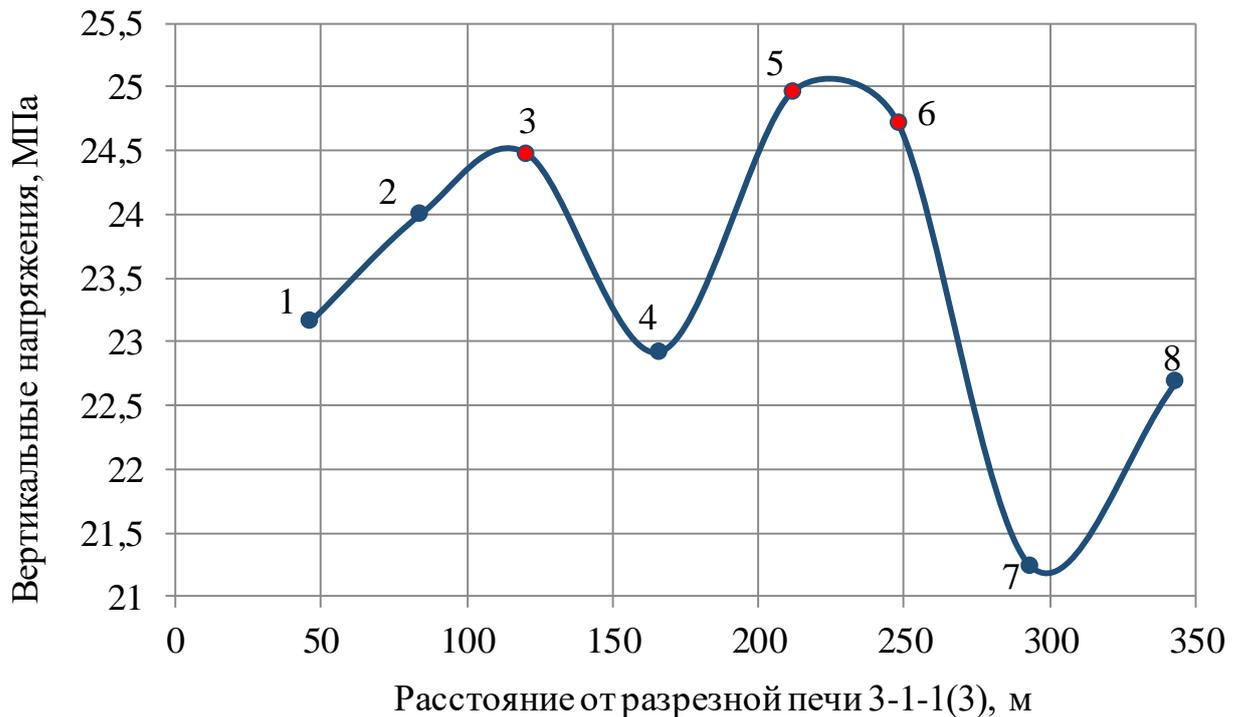


Рис. 4.5. График распределения вертикальных напряжений в угольном пласте в пределах выемочного блока 3-1-3, пласта III ЗАО «Распадская-Коксовая»

Таким образом, применение разработанного метода оперативного определения положения локальных концентраторов вертикальных напряжений в отрабатываемом короткими забоями угольном пласте при сложной форме выработанного пространства и угольных целиков позволит не только своевременно прогнозировать опасные зоны, оперативно проводить корректировку документации по ведению горных работ, но и сократить трудозатраты на проведение противоударных мероприятий работ только в

локальных зонах, а не в пределах всего выемочного участка, как требуется по рекомендациям ВНИМИ [9, 133].

#### **4.2 Разработка рекомендаций для геомеханического обоснования параметров технологии отработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов**

Результаты изучения в течение трёх лет напряжённого состояния массива горных пород численными, натурными визуально-инструментальными методами, а также оценки эффективности противоударных мероприятий на пласте III, систематизированы в виде графиков и зависимостей. Наличие таких графиков и зависимостей позволяет по известному одному параметру напряженного состояния массива горных пород определить другие параметры, что обеспечивает сокращение производственных затрат на проведение шахтных экспериментов и повышение оперативности прогноза геомеханической ситуации.

Результаты численного моделирования подробно изложены в главе 3 и параграфе 4.1 настоящей работы. Фрагменты результатов натурных измерений параметров напряженного состояния массива горных пород по методике ВНИМИ аппаратурой АЭШ-1 оформлены в виде таблиц. Результаты измерения показателя напряженности  $F$  массива горных пород в магистральном штреке (замер №4, 30.11.2016 г., заключение КФ ВНИМИ №1-01/380 от 05.12.2016г.) представлены в таблице 4.3, в выемочной камере №10, блок КСО 1-2 (замеры №№1, 3 17.02.2016 г., заключение КФ ВНИМИ №1-01/55 от 17.02.2016г.) – в таблице 4.4.

По результатам статистической обработки вычисленного методом конечных элементов комплексного показателя удароопасности  $K_y$  и показателя напряженности  $F$  массива горных пород на одинаковом расстоянии от бока камеры получены эмпирические зависимости.

Таблица 4.3 Результаты измерения показателя напряженности  $F$  массива горных пород в магистральном штреке

Бок выработки			Кровля выработки		
расстояние от бока выработки, м	показатель $F$ / комплексный показатель удароопасности	особые признаки массива	расстояние от кровли выработки, м	показатель $F$ / комплексный показатель удароопасности	особые признаки массива
1	1,60/0,5	Разряженная трещиноватая зона, выход буровой мелочи 1,0-1,5 л/м	1	1,60/0,60	Зона трещиноватости
2	2,00/0,8	-//-	2	1,71/0,65	-//-
3	1,58/0,85	-//-	3	1,03/0,7	-//-
4	0,98/0,9	-//-	5	0,51/0,78	-//-
5	0,82/0,95	-//-	5	0,37/0,85	-//-
6	1,00/1,00	-//-	6	0,51/0,9	Граница зоны трещиноватости
7	1,00/1,00	-//-	7	0,50/0,95	Граница зоны трещиноватости
8	0,86/1,00	Выход буровой мелочи 3,0-4,0 л/м	8	0,38/1,00	
9	0,41/1,00	-//-	9	0,22/1,00	
10	0,37/1,00	-//-	10	0,16/1,00	
11	0,41/1,00	-//-	11	0,16/1,00	
12	0,33/1,00	Ширина защитной зоны, выход буровой мелочи 3,0-4,0 л/м	12	0,12/1,00	
13	0,34/1,00	-//-	13	0,11/1,00	
14	0,26/1,00	-//-	14	0,08/1,00	
15	0,25/1,00	-//-	15	0,07/1,00	

Таблица 4.4 Результаты измерения показателя напряженности  $F$  массива горных пород в выемочной камере №10

Бок камеры №10, замер №1			Бок камеры №10, замер №2		
расстояние от бока камеры №10, м	показатель $F$ / комплексный показатель удароопасности	особые признаки массива	расстояние от бока камеры №10, м	показатель $F$ / комплексный показатель удароопасности	особые признаки массива
1	1,64/0,53	Разгруженная трещиноватая зона	1	2,25	Разгруженная трещиноватая зона
2	2,11/0,43	-//-	2	2,25/0,40	-//-
3	2,00/0,51	-//-	3	1,88/0,61	-//-
4	1,41/0,63	-//-	4	0,88/1,00	
5	1,25/0,72	-//-	5	0,83/1,00	
6	0,69/1,00		6	0,61/1,00	
7	0,56/1,00		7	0,41/1,00	

При известном значении показателя напряженности  $F$  и отсутствии сведений о комплексном показателе удароопасности угля и пород рекомендуется формула

$$K_y = 1 - \frac{1 - K_y^6}{F^6 - 1} (F - 1), \quad (4.13)$$

где  $K_y^6$  – комплексный показатель удароопасности угля в боку выработки, рекомендуется принимать  $K_y^6 = 0,5$ , а при наличии отжима угля  $K_y^6 = 0,2$ ;  $F^6$  – показатель напряженности угля в боку выработки.

При известном значении коэффициента показатель удароопасности  $K_y$  и отсутствии результатов натуральных измерений показателя напряженности  $F$  предлагается зависимость

$$F = 1 + \frac{1 - F^6}{1 - K_y^6} (K_y - 1), \quad (4.14)$$

где  $F^6$  - показателя напряженности угля в боку выработки, для условий пласта III рекомендуется принимать  $F^6 = 2,2$  или вычислять по формуле (2.7).

Коэффициент корреляции между показателем напряженности и комплексным показателем удароопасности угля и пород в линейных зависимостях (4.13) и (4.14) равен 0,79.

Для обобщения и анализа результатов исследований при сложной геомеханической ситуации рекомендуется построение графиков распределения параметров напряжённого состояния массива горных пород по отдельным слоям или в виде изолиний в пределах всей расчетной модели (рис. 4.6).

Это позволяет не только проводить оценку геомеханического состояния массива горных пород при существующем положении горных выработок, но и прогноз пространственного развития вероятных концентраторов упругих напряжений при изменении горнотехнической ситуации в пределах выемочного участка.

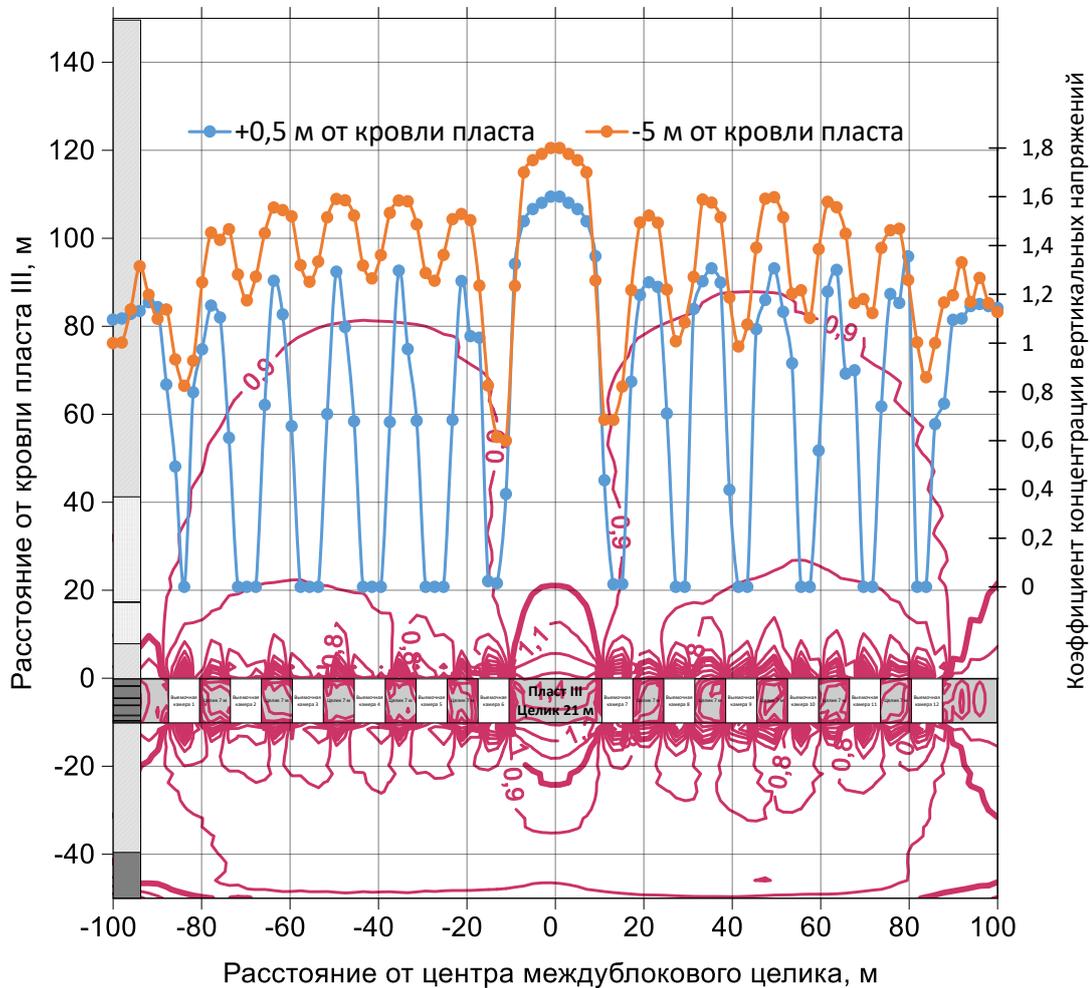


Рис. 4.6. Изолинии и графики распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в междукамерных целиках, породах кровли и угольном массиве пласта III, ЗАО «Распадская-Коксовая»

Например, по характеру распределения коэффициента концентрации вертикальных напряжений, можно утверждать, что ширина барьерного целика 21 м между выемочными блоками достаточная для обеспечения его устойчивости, а уголь в междуканальных целиках находится в состоянии предразрушения, что подтверждается комплексным показателем удароопасности  $K_y < 0,7$ . Следовательно, можно принять ширину барьерного целика между следующими выемочными блоками в пределах 21-25 м, а противоударные мероприятия в целиках между камерами проводить не следует.

Результаты обобщения выполненных в течение трёх лет исследований напряжённого состояния массива горных пород при отработке короткими забоями склонного к горным ударам мощного угольных пластов представлены в виде графиков на рисунках 4.7 и 4.8.

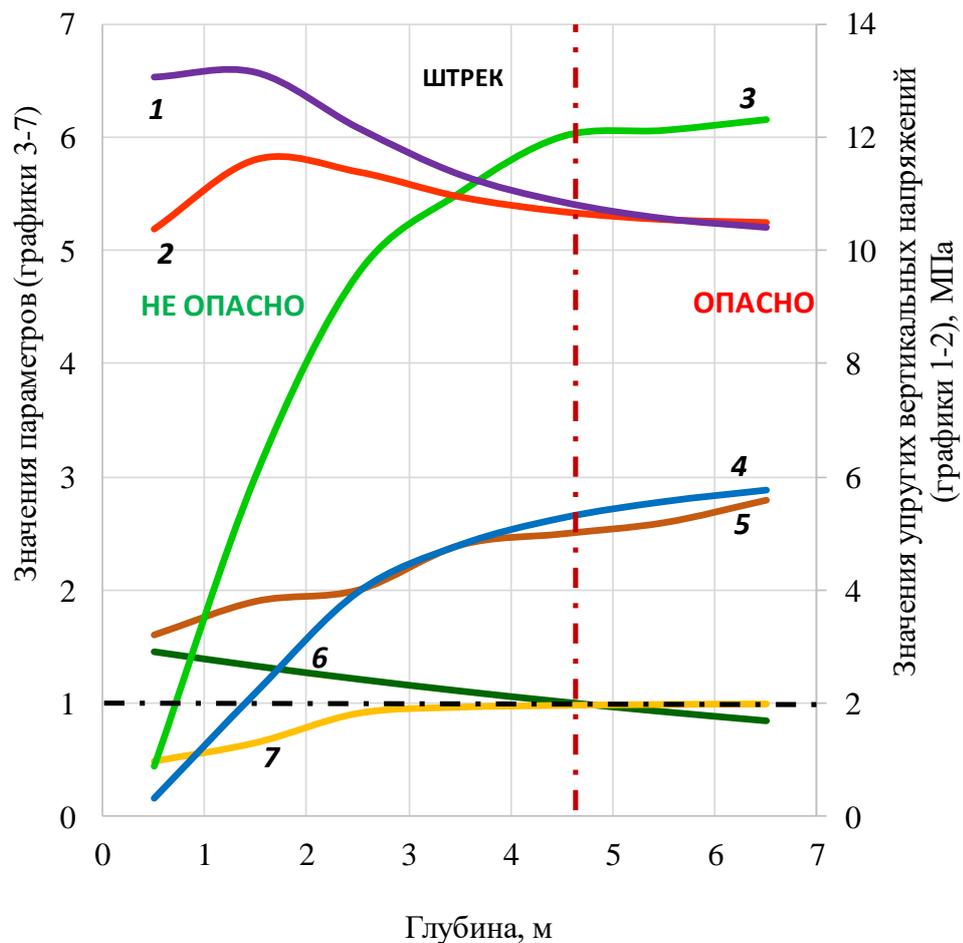


Рис. 4.7 Графики изменения параметров напряженного состояния массива горных пород в окрестности верхнего штрека пласта III

На рисунках 4.7 и 4.8 приняты следующие обозначения графиков:

- 1 – упругие вертикальные напряжения, МПа;
- 2 – упругопластические вертикальные напряжения, МПа;
- 3 – упругие горизонтальные напряжения, МПа;
- 4 – выход штыба, л;
- 5 – упругопластические горизонтальные напряжения, МПа;
- 6 – показатель напряженности по методике ВНИМИ;
- 7 – комплексный показатель удароопасности  $K_y$  угля и пород.

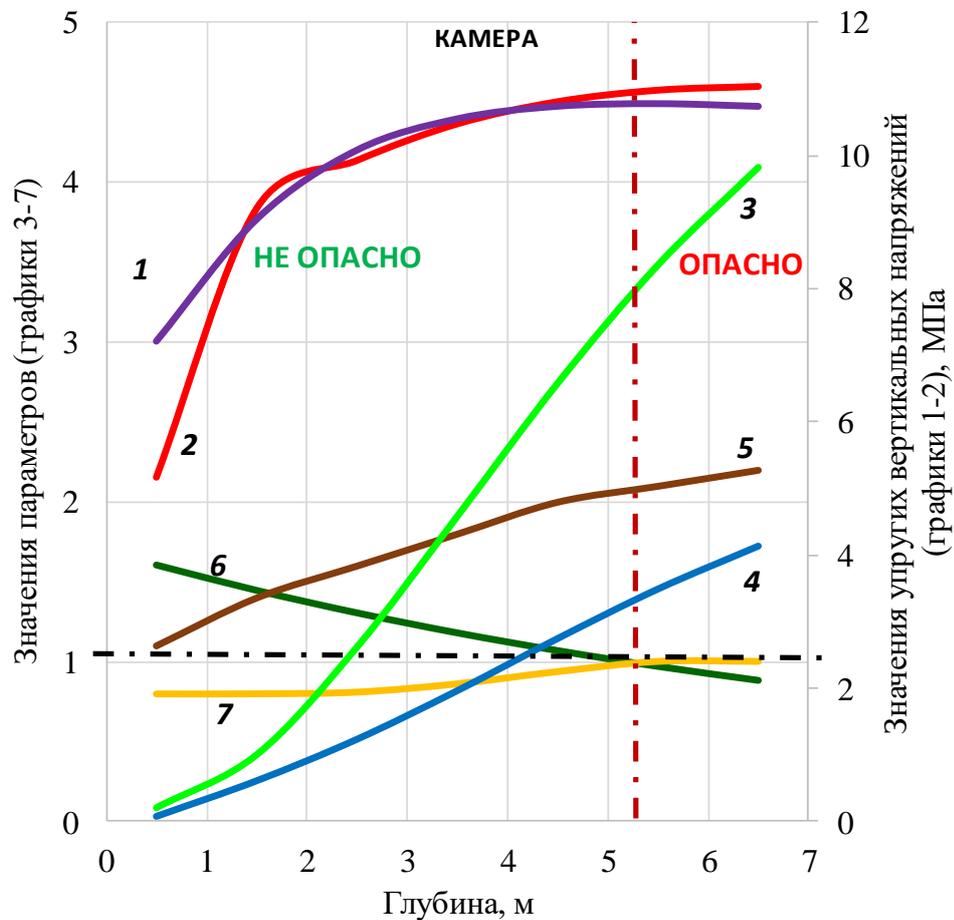


Рис. 4.8 Графики изменения параметров напряженного состояния угольного междукамерного целика пласта III

Представленные на рис. 4.7 и 4.8 графики позволяют по отдельным известным параметрам напряженного состояния массива горных пород определить численные значения других параметров, необходимых для

принятия решений по управлению удароопасностью в соответствии с пространственно-временным расположением горных выработок в текущем и будущем периодах.

Эпюра вертикальных напряжений в окрестности штрека по верхнему слою (линия 1 на рис. 4.7) при упругом состоянии угольного массива, то есть при комплексном показателе удароопасности  $K_{\text{дез}}=1$ , имеет отчётливый максимум на расстоянии 1,5 м от бока штрека. В окрестности выемочной камеры (рис. 4.8, график 1) максимум эпюры опорного горного давления сдвинут к середине угольного целика, то есть форма эпюры близка к куполообразной. Такой характер распределения коэффициентов концентрации напряжений подтверждается графиками на рис. 4.6.

Эпюры вертикальных напряжений после формирования зоны упругопластического деформирования (графики 2 в зоне предразрушения на рисунках 4.7 и 4.8) по форме повторяют эпюры вертикальных напряжений в упругом угольном массиве. В целом можно утверждать, что вертикальные напряжения не являются определяющими при формировании зоны предразрушения. Хотя основные варианты гипотез распределения напряжений в краевой части пласта базируются, как правило, только на расстоянии от бока выработки до точки максимума эпюры распределения вертикальных напряжений, однако это не подтверждается как результатами моделирования, так и измерения показателя напряженности  $F$ . Согласно графикам рис. 4.7 и 4.8 граница зоны предразрушения расположена на расстоянии 4-5 м, а максимум графика опорного давления 1,5 м от бока выработки.

Наиболее информативными оказались горизонтальные напряжения (графики 3 и 5 на рисунках 4.7 и 4.8). В упругой среде в окрестности штрека максимум эпюры горизонтальных напряжений расположен в пределах 4,5 – 6,0 м, что соответствует значениям комплексного показателя удароопасности  $K_y=1$  и показателю напряженности  $F=1$ , то есть границе зоны трещиноватости

(предразрушения). В угольном межукамерном целике такой зависимости не выявлено.

Однозначно граница зоны трещиноватости (предразрушения) на расстоянии 4-5 м от бока штрека определяется при значениях  $K_y=1$  и показателя напряженности  $F=1$ . Это подтверждается корреляционной зависимостью (2.7).

В угольных целиках между камерами граница зоны удароопасности не выявлена, так уголь в целике находится в зоне предразрушения при  $K_y < 1$ .

По результатам анализа опыта применения разработанных более 20 лет назад и регламентированных Инструкцией [9] методов поинтервального прогноза удароопасности и измерения количества выхода буровой мелочи, скважинной разгрузки геомассива, независимо от особенностей горно-геологических свойств углепородной толщи, установлено, что эффективность этого метода весьма низкая (см., например, рис. 2.13) и зависит от следующих факторов:

- субъективного человеческого, влияющего на качество проведения работ по выбуриванию угольной мелочи;
- технологического, связанного с необходимостью сокращения времени на проведение мониторинга и профилактических работ;
- экономического, связанного с необходимостью остановки забоев и снижения темпов их подвигания в 1,5-1,8 раза;
- нетехнологичность существующих методов прогноза и проведения профилактических мероприятий в условиях достигнутого уровня технического оснащения горного производства.

Указанные недостатки способов и средств мониторинга и профилактики горных ударов по объёму выхода угольной мелочи при бурении шпуров особенно проявились при отработке мощного угольного пласта III короткими забоями в условиях шахты ЗАО «Распадская-Коксовая».

Например, 28.04.2017 г. при заезде с верхнего слоя на нижний произошло интенсивное пучение угольного массива в камеру верхнего слоя.

Такой случай прогнозировался по результатам численного моделирования (см. рис. 2.6). Однако по объёму буровой мелочи до 2 л/м была подтверждена категория НЕОПАСНО, что не подтвердилось фактически.

Для повышения надёжности прогноза и предупреждения горных ударов разработан и реализован комплексный метод геомеханического обеспечения короткозабойных систем подземной разработки склонных к горным ударам мощных угольных пластов. Основой метода является компьютерное моделирование геомеханических процессов с оценкой соответствия полученных параметров систем разработки короткими забоями по результатам точечного мониторинга состояния массива горных пород. Рекомендуется применение следующих методов оперативного мониторинга геомеханических процессов [89,106,107, 108]:

1) «Методические указания по созданию систем контроля состояния горного массива и прогноза горных ударов как элементов многофункциональной системы безопасности угольных шахт» ВНИМИ [89]. В систему мониторинга включены методы и средства сейсмического зондирования и натуральных измерений параметров напряженного состояния массива горных пород с помощью датчиков давления, деформометров, контурных и глубинных реперов, микросейсмических датчиков.

2) Система локального и текущего контроля состояния горного массива «Микон-ГЕО» ООО «ИНГОРТЕХ» [107].

3) Система акустического контроля массива горных пород и прогноза динамических явлений САКСМ [106].

Принципы работы, функции и состав почти всех указанных систем аналогичные. Системы, как правило, включают аппаратуру передачи акустического сигнала от подземных геофонов на поверхность и персонального компьютера с программным обеспечением акустического контроля состояния массива горных пород.

В статье [106] описан положительный опыт применения системы САКСМ в условиях шахт Донбасса (шахта им. А.А. Скочинского) и Кузбасса

(шахта «им. С.М. Кирова», «Первомайская», «Алардинская») для мониторинга следующих процессов и особенностей геомассива: прогноз всех видов динамических явлений; прогноз геологических нарушений; контроль безопасности бурения профилактических скважин; оценка эффективности противоударных мероприятий; контроль состояния краевой части пласта; контроль технологических процессов и др.

Для выполнения указанных видов мониторинга при подготовке и отработке пласта III использовалась система ССМ GITS, которая представляет собой аппаратно-программный комплекс, состоящий: из сети сейсмических датчиков (трехкомпонентных пьезоакселерометров), цифровых телеметрических каналов связи, программного комплекса обнаружения и обработки сигналов, SQL-сервера [89]. Система изготовлена во взрывобезопасном исполнении. Имеет сертификат соответствия и разрешение агентства по надзору для использования в шахтах, опасных по газу.

Как доказано в статье [106] применение системы автоматизированного прогноза горных ударов с использованием аппаратуры ССМ GITS требует бурения в пределах одного выемочного участка бурения 342000 шпуров или скважин, при общей их длине 4,8 тыс. км. Основным недостатком этой системы является отсутствие алгоритма компьютерного прогноза опасных зон и явлений.

Для предотвращения катастрофических событий при природно-техногенных землетрясениях предлагается проведение мониторинга и прогнозирование опасных явлений на основе методики, изложенной в статье [123].

Разработанный во второй главе метод прогноза потенциальной удароопасности отрабатываемого угольного пласта и обоснованные по результатам вычислительных и шахтных экспериментов критерии количественной оценки напряженного и удароопасного состояния угля в междукламерных целиках и краевых участках мощного пласта обеспечивают

возможность выбора и реализации профилактических противоударных мероприятий.

Обоснованы следующие рекомендации для геомеханического обеспечения технологии отработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов [114 - 119].

1) Определение склонности к горным ударам угольных пластов в пределах шахтного поля по действующим методикам.

2) Конструирование вариантов вскрытия, подготовки и системы разработки на стадии разработки проектной документации.

3) Определение по результатам вычислительных экспериментов границ зон деформирования угля и пород в окрестности выработок при разных вариантах короткозабойной технологии отработки угольного пласта.

4) Разработка и оперативная реализация программы ведения горных работ, способов и средств мониторинга геомеханических процессов, определение параметров зон повышенного горного давления.

5) Разработка и реализация профилактических противоударных мероприятий, управление горным давлением для обеспечения устойчивости камер и угольных целиков.

При наличии оперативных результатов текущего мониторинга, используемых в качестве исходных данных для численного моделирования, вычисленные параметры полного вектора напряжений и комплексного показателя удароопасности угля и пород позволяют принимать технологические решения, обеспечивающие профилактику горных ударов.

В качестве примера на рисунках 4.9, 4.10 приведены изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород в окрестности выемочных камер до и после установки анкеров, параметры которых приняты по результатам численного моделирования вариантов паспорта крепления.

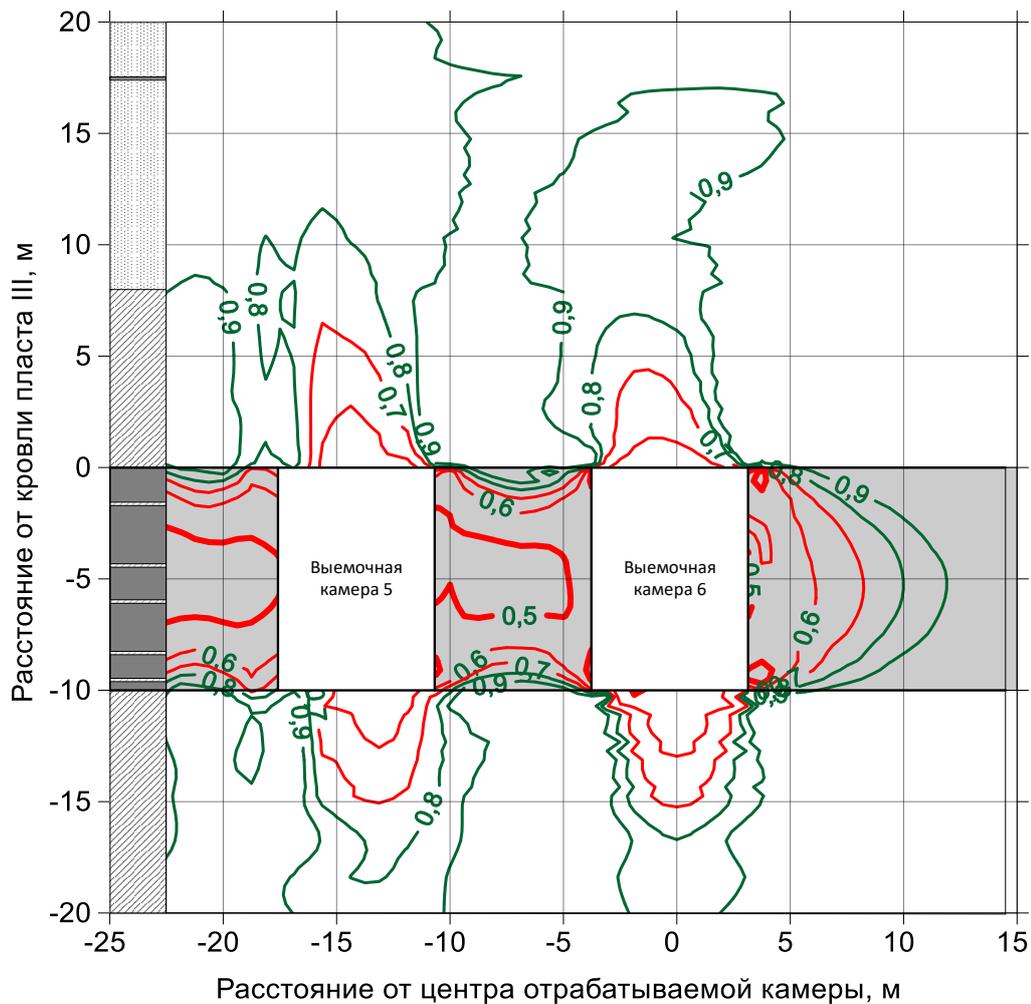


Рис. 4.9. Изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород при взаимном влиянии двух соседних камер в выемочном блоке до установки крепи

Как следует из сравнения форм и размеров зон предразрушения угля и пород на рис. 4.9, 4.10, разработанные рекомендации по паспорту крепления позволили почти в два раза сократить объем зон предразрушения угля. Это подтверждается уменьшением высоты свода естественного равновесия пород в кровле, смещений пород кровли в 1,7 раза, а конвергенции боков камеры – почти в 2 раза. Реализация разработанных рекомендаций позволяет повысить надёжность прогноза параметров напряженного состояния массива горных пород, в том числе категории ОПАСНО или НЕОПАСНО, сократить время и затраты на проведение по рекомендациям ВНИМИ мониторинга в пределах всего выемочного участка за счёт применения точечного мониторинга.

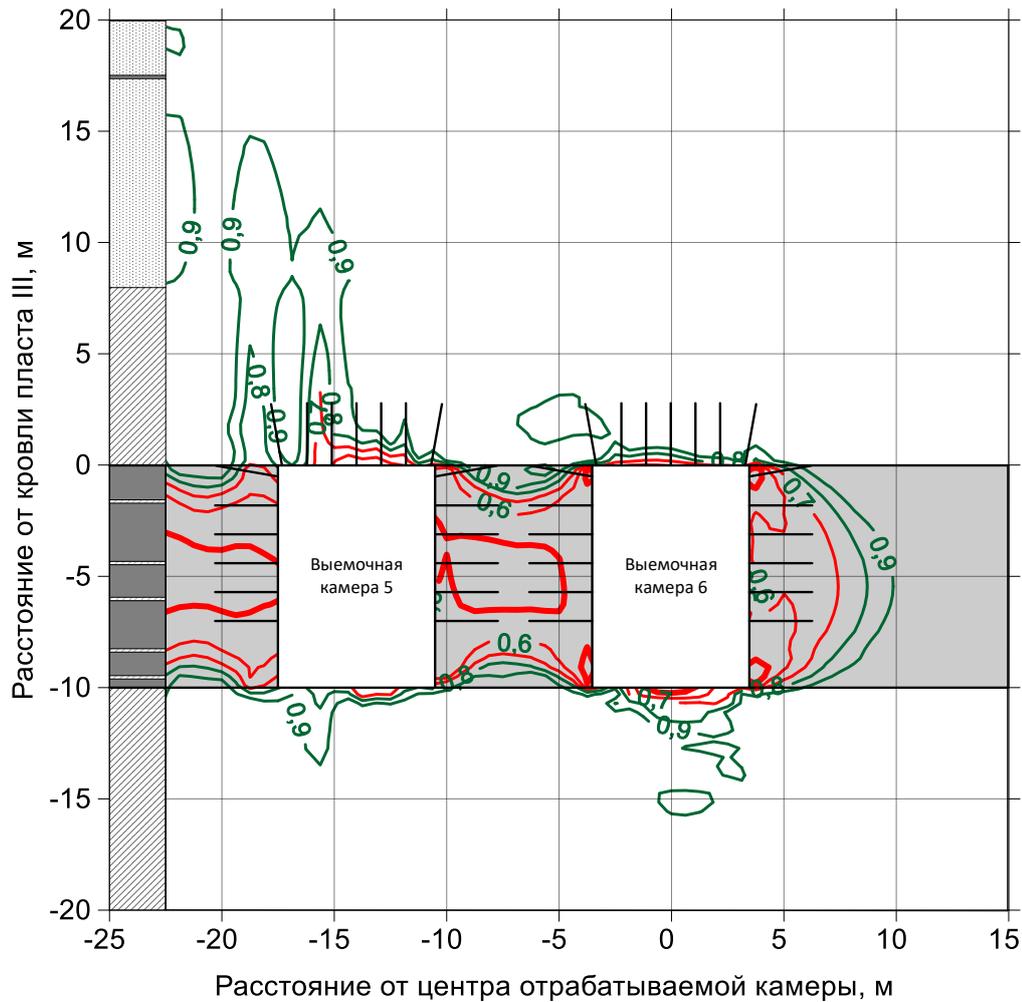


Рис. 4.10. Изолинии распределения комплексного показателя удароопасности угля и пород при взаимном влиянии двух соседних камер в выемочном блоке после установки анкерной крепи

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 рекомендаций добыто 410 тыс. т угля в пределах трёх выемочных участков.

### **4.3 Реализация камерной системы разработки склонного к горным ударам мощного угольного пласта III в условиях ЗАО «Распадская-Коксовая»**

С увеличением глубины разработки пласты Томь-Усинского угольного месторождения были отнесены к склонным к горным ударам, и область применения систем разработки короткими была ограничена. В этой ситуации в ООО «Распадская угольная компания» было принято решение отработки пласта III в условиях шахты ЗАО «Распадская-Коксовая» короткими забоями по рекомендациям ВНИМИ и АО «НЦ ВостНИИ» (рис. 4.3).

Учитывая, что условия залегания пласта и технология отработки его короткими забоями не соответствовали требованиям нормативных документов был разработан «Технологический регламент по безопасной отработке запасов пласта III, склонного к газодинамическим явлениям, системой разработки короткими забоями, в условиях ЗАО «Распадская-Коксовая» Ольжерасского каменноугольного месторождения» (далее по тексту «Регламент...»). В «Регламент...» в виде приложений включены следующие основные разделы:

- варианты технологических схем с пространственно-временным расположением системы очистных и подготовительных забоев;
- результаты расчётов геометрических параметров выемочных блоков; ширины междублоковых, междукамерных и барьерных угольных целиков;
- результаты расчётов параметров крепи оконтуривающих выработок, выемочных камер и их сопряжений;
- методы и результаты прогноза удароопасности и выбросоопасности;
- мероприятия по профилактике горных ударов и внезапных выбросов угля, породы и газа;
- программу и графики проведения научно-исследовательских работ при внедрении системы разработки короткими забоями;

- научное сопровождение технологии отработки мощного пласта по программам ВНИМИ и АО «НЦ ВостНИИ».

«Регламент...» согласован и утверждён в установленном порядке со всеми участниками опытно-промышленных испытаний системы разработки короткими забоями. Титульный лист регламента приведен в приложении А.

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 (рис. 3.1). По верхнему слою проводилась камера длиной 100 м и шириной 6 м. Между камерами оставлялся целик шириной 7 м, который обратным ходом комбайна частично извлекался в заходках шириной 6 м. Крепление кровли выемочных камер осуществлялось шестью анкерами длиной 2,8 м с шагом установки анкеров один метр по длине камеры. В боках камер (междукамерных целиков) устанавливались три анкера длиной 1,8 м с расстоянием между рядами 2.1 м. Бока камеры по нижнему третьему слою не крепились. Крепление сопряжений камер и очистных заходок осуществлялось тремя канатными анкерами АК01 длиной 4,0 м. Для крепления сопряжений выемочных камер с подготовительными выработками и применялись канатные анкера АК01 длиной 4,6 м, три анкера в ряду, всего 33 анкера на сопряжении. Текущий прогноз удароопасности проводился через каждые 75 м, а прогноз выбросоопасности через 4 метра.

Результаты опытно-промышленных испытаний технологии камерно-столбовой системы разработки на первом этапе:

- в конвейерном штреке КСО 1-1 произошёл разлом угольной толщи в почве штрека. Комиссия установила причину разлома: появление растягивающих деформаций угля, разгрузка угольного массива от сжимающих напряжений, повышение коэффициента фильтрации угля под влиянием деформаций и давления метана почве выработки;

- не обеспечивалась устойчивость столбчатых угольных целиков между очистными заходками и выемочными камерами, что привело к обрушению пород непосредственной кровли;

- 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 были разработаны:

- «Дополнение к рекомендациям по параметрам отработки запасов в блоке №2 участков КСО 1-1, КСО 1-2 в условиях пласта III ЗАО «Распадская-Коксовая», в соответствии с которыми предложено применить камерную систему разработки с шириной выемочных камер и междукамерных целиков 7 м.

- «Рекомендации по безопасной отработке участков КСО 3-11 системой разработки короткими забоями в условиях пласта III, блока №2 ЗАО «Распадская-Коксовая», в которых предложены следующие параметры системы разработки короткими забоями: ширина выемочных камер и междукамерных целиков 7 м, длина выемочных камер 78 м, оставление междублоковых целиков шириной 21 м через каждые 6 выемочных камер. Крепление кровли выемочных камер 7 анкерами длиной 3,2 м, расстояние между рядами 1 м. Крепление боков камер: тремя анкерами длиной 2,8 м, шаг установки крепи 1,5 м, бока камер нижнего слоя не крепились. Крепление сопряжений выемочных камер с подготовительными выработками канатными анкерами АК01 длиной 6,5 м, три анкера в ряду, всего 51 анкер. Рекомендовано ориентировать оси выемочных камер перпендикулярно направлению плоскостей главной системы трещин.

Третий этап (2016-2018 гг.) – ведение горных работ по камерной системе разработки в блоках 1-2 и 3-1-1 (параметры для блока 3-1-1 указаны в тексте в скобках) согласно скорректированной проектной документации и

технологический регламент (Приложение А). На этом этапе применялась послойная камерная система разработки (рис. 3.8). По верхнему слою проводилась камера длиной 78-90 м и шириной 7 м. Между камерами оставлялся целик шириной 7 м. Крепление кровли выемочных камер осуществлялось 7 анкерами длиной 2,6 (3,2) м с шагом установки анкеров 1,1 (1,0) м по длине камеры. В боках камер (междукамерных целиков) устанавливались три анкера длиной 3,2 (2,8) м с расстоянием между рядами 1,5 м. Бока камеры по нижнему третьему слою не крепились. Для крепления сопряжений выемочных камер с подготовительными выработками и применялись канатные анкера АК01 длиной 4,8 (6,5) м, три анкера в ряду, всего 49 (51) анкера на сопряжении. Междублоковый целик шириной 21 м оставлялся после отработки 6 выемочных камер.

Текущий прогноз удароопасности проводился через каждые 18 м, а прогноз выбросоопасности через 4 метра. Через каждые 12 м проводились мероприятия по предотвращению выделений газа при разломе почвы, а контроль эффективности этих мероприятий через каждые 6 м.

Параметры системы разработки короткими забоями в условиях пласта Ш АО «Распадская-Коксовая» для выемочного блока КСО 1-1 приведены в таблице 4.5.

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

По результатам опытно-промышленной эксплуатации в коротких очистных забоях 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. (Приложение Д).

Таблица 4.5 Параметры технологии отработки пласта III АО «Распадская-Коксовая»

Наименование	Первоначальные параметры	Пункт 1 (разлом почвы)	Пункт 2 (разработка Методулой)	Пункт 3 (отказ от заходок)	Пункт 4 (разработка Дополнение к рекомендациям)	Пункт 5 (Корректировка методулой)	Пункт 6 (обрушение кровли)
Длина выемочных камер, м	100	-//-	-//-	-//-	-//-	-//-	-//-
Барьерный (внутриблоковый) целик, м	Не предусмотрено	-//-	-//-	-//-	-//-	-//-	21
Периодичность оставления барьерного (внутриблоковый) целика	Не предусмотрено	-//-	-//-	-//-	-//-	-//-	После отработки 6 выемочных камер
Ширина выемочных камер, м	6	-//-	-//-	-//-	7	-//-	-//-
Ширина целиков, м	7	-//-	-//-	-//-	7	-//-	-//-
Длина заходки, м	6 (по центру)	-//-	-//-	Исключено	-//-	-//-	-//-
Ширина заходки, м	6	-//-	-//-	Исключено	-//-	-//-	-//-
Крепление выемочных камер:							
- Кровля;	2,8м (шаг 1,0м; кол-во 6 анкеров)	-//-	-//-	-//-	2,6м (шаг 1,1м; кол-во 7 анкеров)	-//-	-//-
- Бока;	1,8м (шаг 2,1м; кол-во 3 анкера в каждом слое, кроме 3 слоя)	-//-	-//-	-//-	2,5м (шаг 2,1м; кол-во 3 анкера в каждом слое, кроме 3 слоя)	-//-	3,2м (шаг 1,5м; кол-во 3 анкера в каждом слое, кроме 3 слоя)
- Крепление заходок;	Без крепления	-//-	-//-	Исключено	-//-	-//-	-//-
- Крепление сопряжения выемочных камер с заходками;	Канатными анкерами АКО1 L=4,0 метра (кол-во 3 анкера)	-//-	-//-	Исключено	-//-	-//-	-//-
- Крепление сопряжения выемочных камер с подготовительными (окоптривающими) выработками;	Канатными анкерами АКО1 L=4,6 метра (3 анкера в ряду; всего – 33 анкера)	-//-	-//-	-//-	Канатными анкерами АКО1 L=4,8 метра (3 анкера в ряду; всего – 49 анкеров)	-//-	-//-
Текущий прогноз удароопасности;	75 метров	-//-	14 метров	-//-	-//-	-//-	-//-
Текущий прогноз выбросоопасности;	4 метра	-//-	-//-	-//-	-//-	-//-	-//-
Мероприятия по предотвращению выделений газа с разломом почвы, м	Не предусмотрено	Каждые 6 метров	-//-	-//-	-//-	Каждые 12 метров	-//-
Контроль эффективности мер по предотвращению выделений газа с разломом почвы, м	Не предусмотрено	Каждые 6 метров	-//-	-//-	-//-	-//-	-//-

#### 4.4 Выводы

1) Разработан метод оперативного определения положения локальных концентраторов вертикальных напряжений в отрабатываемом короткими забоями угольном пласте. Достоинство метода состоит в возможности сокращения объема работ при локальном прогнозе удароопасности по выходу буровой мелочи или геофизическими методами, сокращении времени непроизводительной работы очистных и подготовительных забоев.

2) Разработаны рекомендации для геомеханического обеспечения технологии отработки 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 камер и угольных целиков.

3) Разработан и утвержден в установленном порядке «Технологический регламент по безопасной отработке запасов пласта III, склонного к газодинамическим явлениям, системой разработки короткими забоями, в условиях ЗАО «Распадская-Коксовая» Ольжерасского каменноугольного месторождения» (Приложение А).

4) Проведены опытно-промышленные испытания технологии камерной системы разработки, которые показали ее высокую адаптивность к горно-геологическим и горнотехническим условиям пласта III шахта ЗАО «Распадская-Коксовая, что подтверждено соответствующими справками и протоколами (Приложения В-Д).

## 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 пласта:  $K_y > 1,0$  – высокий уровень напряжений, удароопасное состояние;  $K < K_y \leq 1,0$  – пограничный уровень напряжений, переход от категории НЕОПАСНО к категории ОПАСНО;  $\frac{\sigma_{сж}}{K_k \gamma H} < K_y \leq K$  – переход от плотной к трещиноватой структуре, слабонапряжённое, неудароопасное состояние;  $K_y \leq \frac{\sigma_{сж}}{K_k \gamma H}$  – 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 междукammerных целиков увеличивается пропорционально ширине отработанного блока и высоте камер, а

коэффициент концентрации вертикальных напряжений в краевых участках пласта - пропорционально ширине камер.

4. Разработан метод определения положения локальных концентраторов вертикальных напряжений с учетом формы и размеров угольных целиков, подготовительных выработок и камер в обрабатываемом 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 камер 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 параметров напряженного 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.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов: справ. пособие [Текст] / А.Д. Рубан [и др.]; под общ. ред. А.Д. Рубана. – М. : Горная книга, 2010. – 500 с.
2. Динамические формы проявлений горного давления [Текст] / В.Б. Артемьев [и др.]. – СПб.: Наука, 2009. – 347 с.
3. Шаклеин С.В. Подходы к обоснованию концепции развития минерально-сырьевой базы Кузнецкого угольного бассейна [Текст] / С.В. Шаклеин, М.В. Писарева // Рациональное освоение недр. – 2013. – № 2. – С. 38 – 40.
4. Технология разработки запасов мощных пологих пластов с выпуском угля [Текст] / В.И. Клишин [и др.]. – Новосибирск : Наука, 2013. – 248 с.
5. Гатинский Ю.Г. Геодинамика и сейсмичность горнопромышленных регионов стран СНГ Центральной Азии [Текст] / Ю.Г. Гатинский, Ю.Н. Малышев, Т.В. Прохорова // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2015. – № 2. – С. 78 – 84.
6. Геодинамическое районирование Южного Кузбасса : монография [Текст] / Т.И. Лазаревич [и др.]. – Кемерово : Весть, 2006. – 184 с.
7. Лазаревич Т.И. К проблеме сейсmobезопасности Кузбасса в условиях активного освоения его недр [Текст] / Т.И. Лазаревич, А.Н. Поляков // ТЭЖ и ресурсы Кузбасса. – 2010. – № 2. – С. 28 – 30.
8. Хазов В.М. Результаты работ по созданию систем разработки мощных пологих пластов при гидромеханизации [Текст] / В.М. Хазов, В.В. Соин, А.Е. Саньков / Труды ВНИИГидроугля. Вопросы гидравлической добычи угля, вып. XI. – Кемерово : Кемеровское кн. изд-во, 1967. – С.53 – 63.
9. Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах: сборник документов. Серия 05. Выпуск 2. [Текст] / Колл. авт. – М. : ЗАО «НТЦ исследований проблем промышленной безопасности», 2011. – 304 с.

10. Мучник В.С. Подземная гидравлическая добыча угля [Текст] / В.С. Мучник, Э.Б. Голланд, М.Н. Маркус. – М. : Недра, 1986. – 223 с.

11. Основы противоаварийной устойчивости угольных предприятий [Текст] / А.И. Костогрызов [и др.]. – М. : Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2014. – 336 с.

12. К вопросу отработки удароопасных угольных пластов короткими забоями [Текст] / Д.В. Яковлев [и др.] // Уголь. – 2015. – № 7. – С. 13 – 16.

13. Ногих С.Р. Способ отработки охранных целиков группы горных выработок на мощных удароопасных пластах [Текст] / С.Р. Ногих, А.В. Кохальников, М.В. Шванкин // Уголь. – 2000. – № 12. – С. 19.

14. Коршунов Г.И. Геомеханика на угольных шахтах [Текст] / Г.И. Коршунов [и др.]. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 388 с.

15. Грицюк Я.М. Землетрясения в угледобывающем регионе [Текст] / Я.М. Грицюк, М.И. Савиных // Научно-технические аспекты разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. – № 2. – С. 455 – 462.

16. Хачай О.А. Геосинергетика: теория, методы, эксперименты при решении проблем отработки горных массивов [Текст] / О.А. Хачай, О.Ю. Хачай // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2015. – № 2. – С. 45 – 51.

17. Клишин С.В. Перетоки энергии в массиве горных пород в процессе приливного деформирования [Текст] / С.В. Клишин, А.Ф. Ревуженко // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2016. - Том 1, № 3. – С. 76 – 79.

18. Рогов Е.И. Закономерности формирования ситуаций, опасных по проявлению горных ударов [Текст] / Е.И. Рогов // Научно-технические аспекты разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. – № 2. – С. 140 – 143.

19. Ройтер М. Мониторинг геомеханического состояния очистного забоя угольной шахты в системе управления Марко «Цифровая шахта» [Текст] /

М. Ройтер, М. Крах, У. Кисселинг, Ю. Векслер // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* – 2016. – Том 1, № 3. – С. 156 – 162.

20. 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» : зарег. в Минюсте России 31.12.2013 № 30961. – М., 2013. – 183 с.

22. Коваленко Е.В. Некоторые вопросы выбора рациональных систем разработки мощных пологопадающих пластов Норильского угольного месторождения [Текст] / Е.В. Коваленко, Ф.В. Кузнецов // *Разработка угольных месторождений.* – Новосибирск : ИГД СО АН СССР. – 1964. – С. 82 – 111.

23. Скопин С.Г. Некоторые вопросы разработки мощных угольных пластов Томь-Усинского месторождения Кузбасса [Текст] / С.Г. Скопин // *Разработка угольных месторождений.* – Новосибирск: ИГД СО АН СССР. – 1964. – С. 174 – 184.

24. Опыт направленного гидроразрыва основной кровли при выводе механизированного комплекса из монтажной камеры [Текст] / В.И. Клишин [и др.] // *Уголь.* – 2015. – №11. – С. 12 – 16.

25. Инструкция по выбору способа и параметров разупрочнения кровли при выемке на выемочных участках [Текст] – Л. : ВНИМИ, 1991. – 102 с.

26. Клишин В.И. Применение поинтервального гидроразрыва угольного пласта для интенсификации пластовой дегазации [Текст] / В.И. Клишин, Г.Ю. Опрук, А.Л. Тациенко // *Научноёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов.* – 2016. – № 2. – С. 33 – 39.

27. Семенихин А.Я. Пути совершенствования системы разработки мощных пологих пластов при гидродобыче [Текст] / А.Я. Семенихин, Г.В. Манжелевский / *Труды ВНИИгидроугля,* вып. 39. – Новокузнецк : ВНИИгидроуголь, 1977. – С. 41 – 46.

28. Управление горным давлением при разработке пологих пластов с труднообрушаемой кровлей на шахтах Кузбасса [Текст] / С.И. Калинин [и др.]. – Кемерово : Кемеровское кн. изд-во, 1991. – 247 с.

29. Перспективные технические решения отработки мощных пологих угольных пластов с выпуском [Текст] / В.И. Клишин [и др.] // Уголь. – 2011. – № 12. – С. 6 – 10.

30. Шундулиди И.А. Интегрированные технологические системы многостадийной отработки запасов мощных угольных пластов [Текст] / И.А. Шундулиди. – М. : Изд-во ООО «Международная академия связи», 2004. – 359 с.

31. Фрянов В.Н. Обоснование параметров технологии подготовки и отработки мощных пологих пластов [Текст] / В.Н. Фрянов, А.В. Чубриков. – Новокузнецк : СибГИУ, 2002. – 217 с.

32. Штумпф Г.Г. Совершенствование и повышение эффективности разработки мощных пологих и наклонных пластов [Текст] / Г.Г. Штумпф, Н.М. Хвещук, А.В. Сурков // Уголь. – 2002. – № 12. – С.13 – 15.

33. Опыт отработки мощного пологого пласта в сложных горно-геологических условиях камерно-столбовой системой [Текст] / Б.П. Агудалин [и др.] / Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2000. – С. 72 – 34.

34. Егоров П.В. Технологические и геомеханические параметры камерно-столбовой системы отработки мощного пологого пласта [Текст] / П.В. Егоров, С.И. Калинин, Б.П. Агудалин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2001. – №5. – С. 30 – 32.

35. Результаты испытаний отработки верхнего слоя мощного пологого пласта в сложных горно-геологических условиях камерно-столбовой системой [Текст] / Б.П. Агудалин [и др.] // Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых : тр. IV междунар. конф. – Новокузнецк : СибГИУ, 1999. – С.146 – 148.

36. Громов Ю.В. Управление горным давлением при разработке мощных пологих пластов угля [Текст] / Ю.В. Громов, Ю.Н. Бычков, В.И. Кругликов. – М. : Недра, 1985. – 239 с.

37. Василенко Н.К. Повышение эффективности механизированной выемки мощных пологих пластов с труднообрушаемой кровлей и опасных по горным ударам [Текст]: автореф. дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук / Н.К. Василенко ; КузГТУ. – Кемерово, 1998. – 17 с.

38. Отработка мощного угольного пласта механизированным комплексом с выпуском подкровельной пачки [Текст] / С.И. Калинин [и др.]. – Кемерово : КузГТУ, 2011. – 224 с.

39. Ямалов И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций [Текст] / И.У. Ямалов. – М. : Лаборатория базовых знаний, 2010. – 288 с.

40. Архипова Н.И. управление в чрезвычайных ситуациях [Текст] / Н.И. Архипова, В.В. Кульба. – М. : РГГУ, 2008. – 474 с.

41. Весков М.И. К вопросу выемки угля без крепления и без присутствия людей в очистном пространстве [Текст] / М.И. Весков // Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского. – 1961. – IX. – С.3 – 8.

42. Бублик Ф.П. Методические указания по определению несущей способности целиков [Текст] / Ф.П. Бублик. – Л. : ВНИМИ, 1972. – 90 с.

43. Определение параметров системы разработки короткими очистными забоями угольных пластов, склонных к горным ударам [Текст] / Г.И. Коршунов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 7. – С. 27 – 30.

44. Проскуряков Н.М. Управление состоянием массива горных пород [Текст] / Н.М. Проскуряков. – М. : Недра, 1991. – 368 с.

45. Фисенко Г.Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок [Текст] / Г.Л. Фисенко. – М. : Недра, 1976. – 272 с.

46. Коровкин Ю.А. Теория и практика длиннолавных систем [Текст] / Ю.А. Коровкин, П.Ф. Савченко. – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2012. – 808 с.

47. Егоров П.В. Предупреждение горных ударов в шахтах Кузбасса [Текст] / П.В. Егоров, А.И. Петров, В.В. Егошин. – Кемерово : Кемеровское кн. изд.- во, 1987. – 144 с.

48. Семёнов А.П. Исследование проявления горного давления в очистных камерах, закреплённых анкерной крепью [Текст] / А.П. Семёнов [и др.] // Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского. – 1961. – IX. – С. 53 – 64.

49. Расчёт и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях пласта угля: метод. указ. [Текст] / ред. И.М. Петухов. – Л. : ВНИМИ, 1973. – 130 с.

50. Методика расчёта и выбора параметров крепи на сопряжениях горных выработок при одинарной и парной подготовке выемочных столбов [Текст]. – СПб. : ВНИМИ, 2004. – 84 с.

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

52. 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.

53. Беспятов Г.А. Синергетика выбросоопасной горной среды [Текст] / Г.А. Беспятов, В.Н. Вылегжанин, С.С. Золотых. – Новосибирск: Наука, 1996. – 191 с.

54. Лобанова Т.В. Современные геодинамические движения в районе Таштагольского месторождения и их влияние на эксплуатацию охраняемых объектов [Текст] / Т.В. Лобанова, С.А. Лобанов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2015. – С. 32 – 38.

55. Эффективность работы механизированных очистных забоев с системой управления Марко «Цифровая шахта» [Текст] / М. Ройтер [и др.] //

Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2014. – Т. 2., № 1. – С. 176 – 181.

56. Горное дело: Терминологический словарь [Текст] / Г.Д. Лидин [и др.]. – М. : Недра, 1990. – 694 с.

57. Хуве Х-В. Горные удары и их успешное предупреждение в немецкой каменноугольной промышленности [Текст] / Х-В. Хуве, Р. Балтц, А. Хуке // Глюкауф. – 2008. – № 1(2). – С. 60 – 64.

58. Филимонов К.А. Исследование влияния скорости подвигания очистного забоя на обрушение кровли [Текст] / К.А. Филимонов // Вестник КузГТУ. – 2003. – № 6. – С.10 – 12.

59. Методическое руководство по выбору геомеханических параметров технологии разработки угольных пластов короткими забоями [Текст] / кол. авторов. – СПб. : ВНИМИ, 2003. – 30 с.

60. Козырев А.А. Об управлении напряженно-деформированным состоянием массива горных пород при проходке горных выработок в удароопасных условиях [Текст] / А.А. Козырев, С.Н. Савченко // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2014. – Т. 17, № 2. – С 221 – 224.

61. Каледин В.О. Численно-аналитические модели в прочностных расчётах пространственных конструкций [Текст] / В.О. Каледин. – Новокузнецк : НФИ КемГУ. – 2000. – 204 с.

62. Хомченко В.Н. Зависимость расчётных размеров целиков от глубины разработки в системах с короткими очистными забоями [Текст] / В.Н. Хомченко, В.А. Карасев, Ю.А. Масаев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – №1 (107). – С. 45 – 50.

63. Отработка мощных угольных пластов, опасных по газодинамическим явлениям, системой коротких забоев [Текст] / В.П. Баскаков [и др.] // Уголь. – 2015. – №11 (1076). – С. 17 – 20.

64. Вартанов А.З. Научно-методические основы принятия проектных решений по комбинированной отработке пластов длинными и короткими

забоями на угледобывающих предприятиях [Текст] / А.З. Вартанов, И.В. Петров, А.В. Федаш // Уголь, 2015. – №10. – С. 30 – 34.

65. Варфоломеев Е.Л. Инновационное решение короткозабойной технологии добычи угля, направленное на повышение полноты извлечения и эффективности отработки угольных пластов подземным способом [Текст] / Е.Л. Варфоломеев // Рациональное освоение недр. – 2011. – № 4. – С. 14 – 18.

66. Освоение камерно-столбовой системы разработки ниже границы горных ударов в условиях шахты «Денисовская» [Текст] / А.А. Ордин [и др.] // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2014. – Т. 1., №1. – С. 273 – 279.

67. Ивченко Ф.П. Эффективная оценка напряженного состояния пластов угля, склонных к горным ударам [Текст] / Ф.П. Ивченко, Н.В. Кротов // Записки Горного института. – 2010. - Т. 185. – С. 110 – 112.

68. Боровков Ю.А. Снижение вероятности проявления горных ударов в массиве горных пород на основе применения поверхностно-активных веществ [Текст] / Ю.А. Боровков, К.Л. Акопян // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 4. – С. 80 – 82.

69. Лапин Э.С. К ранжированию факторов, влияющих на возникновение горного удара при подземной разработке угольных пластов [Текст] / Э.С. Лапин, М.Г. Сапожников // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2011. – № 2. – С. 4 – 8.

70. Дудукалов В.П. Факторы увеличения риска горных ударов от реологических процессов в зоне влияния лавы [Текст] / В.П. Дудукалов // Уголь. – 2006. – №11 (967). – С. 52 – 53.

71. Применение метода распознавания образов для прогноза опасности горных ударов на угольной шахте Юэцзинь [Текст] / Т. Лань [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 7. – С. 215 – 220.

72. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах» [Электронный ресурс]: приказ Ростехнадзора от 17 декабря

2013 года № 610 : зарег. в Минюсте России 19.02.2014 года, регистрационный № 31354. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499066486?block=9>.

73. Петров А.И. Особенности отработки пластов, склонных к горным ударам [Текст] / А.И. Петров. – М. : Прометей, 1990. – 72 с.

74. Горная энциклопедия : в 5 т. Т. 2 [Текст] / гл. ред. Е.А. Козловский. – М. : Сов. Энциклопедия, 1985. – 575 с.

75. Устойчивость горных выработок в зависимости от направления главных максимальных горизонтальных напряжений [Текст] / В.Ф. Демин [и др.] // Горный журнал Казахстана. – 2015. – №11. – С. 20 – 22.

76. Результаты работы гидрошахт, обезвоживающих и обогатительных фабрик Кузбасса и Донбасса за 1989 год [Текст]. – Новокузнецк : ВНИИГидроуголь, 1990. – 150 с.

77. Технология очистных работ на пологих и наклонных пластах гидрошахт (рекомендации) [Текст]. – Новокузнецк : ВНИИГидроуголь, 1982. – 134 с.

78. Силов В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке [Текст] / В.Б. Силов. – М. : ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.

79. Атрушкевич О.А. Научные основы, конструирование и прогноз геомеханических параметров интенсивной технологии подземной гидромеханизированной разработки крутых угольных пластов с открытых горных выработок [Текст] / О.А. Атрушкевич. – М.: Издательство МГГУ, 1997. – 154 с.

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

81. Методика выбора рациональных параметров технологических схем очистной выемки пологих угольных пластов гидрошахт Кузбасса [Текст] / А.П. Колесников [и др.]. – Новокузнецк : ВНИИГидроуголь, 1988. – 139 с.

82. Пат. № 2295037 Рос. Федерация, МПК E21C 41/18. Способ разработки мощного пологого пласта столбами камерами [Текст] / Ялевский В.Д. [и др.] ; опубл. 10.03.2007, Бюл. № 7.

83. Варфоломеев Е.Л. Инновационные технологии разработки мощных пологих угольных пластов [Текст] / Е.Л. Варфоломеев, О.А. Татарина, И.Л. Борисов // Уголь. – 2014. – № 12. – С.32 – 37.

84. Кузьмин С.В. Разработка способа охраны подготовительных выработок с помощью компенсационных полостей при отработке мощных пологих угольных пластов : автореф. дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук [Текст] / С.В. Кузьмин ; Санкт-Петербургский горный университет «Горный». – СПб., 2017. – 20 с.

85. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов [Текст] / Л. Сегерлинд. – М. : Мир, 1979. – 392 с.

86. Власов В.З. Балки, плиты и оболочки на упругом основании [Текст] / В.З. Власов, Н.Н. Леонтьев. – М. : Госуд. изд-во физ.-мат. лит., 1960. – 492 с.

87. Бреббия К. Применение метода граничных элементов в технике: пер. с англ. [Текст] / К. Бреббия, С Уокер. – М. : Мир, 1982. – 248 с.

88. Безухов Н.И. Приложение методов теории упругости и пластичности к решению инженерных задач [Текст] / Н.И. Безухов, О.В. Лужин. – М. : Высшая школа, 1974. – 200 с.

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

90. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 21123. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования формирования и распределения опасных зон в газоносном геомассиве [Электронный ресурс] / В.Н. Фрянов, О.А. Петрова, Т.В. Петрова ; дата рег. 03 августа 2015 // Хроники объединённого фонда электронных ресурсов «Наука

и образование»; № 08-09 (75-76) август-сентябрь 2015. – Режим доступа: <http://ofernio.ru/portal/newspaper05.php>.

91. Свойства горных пород и методы их определения [Текст] / Ильницкая Е.И. [и др.] – Москва : Недра, 1969. – 392 с.

92. Физико-технические свойства горных пород и углей [Текст] / Г.Г. Штумпф [и др.]. – М. : Недра, 1994. – 447 с.

93. Петухов И.М. Механика горных ударов и выбросов [Текст] / И.М. Петухов, А.М. Линьков. – М. : Недра, 1983. – 280 с.

94. Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов [Текст] / И.М. Петухов, А.А. Линьков, В.С. Сидоров и др. – М. : Недра, 1992. – 256 с.

95. Методика выбора рациональных параметров технологических схем очистной выемки пологих угольных пластов гидрошахт Кузбасса [Текст] / А.П. Колесников [и др.]. – Новокузнецк : ВНИИгидроуголь, 1988. – 139 с.

96. Кратч Г. Сдвижение горных пород и защита подрабатываемых сооружений [Текст] / Г. Кратч. – М. : Недра, 1982. – 494 с.

97. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов [Текст] / А. А. Борисов. – М. : Недра, 1980. – 306 с.

98. Фрянов В.Н. Определение коэффициентов концентрации напряжений с помощью интеграционной палетки при отработке пологих угольных пластов [Текст] / В.Н. Фрянов, А.П. Колесников // Сб. Совершенствование техники и технологии гидродобычи угля. – Новокузнецк : ВНИИгидроуголь, 1986. – С. 68 – 75.

99. Brauner G. Beurteilung des Gebirgsdrucks nach den Angaben den Grubenbides [Текст] // Gluückauf-Forshungshefte. – 1973. – № 3. – С. 101 – 103.

100. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами [Текст] / под ред. М. Абрамовица, И. Стриган. – М.: Наука, 1979. – 830 с.

101. Фрянов В.Н. Исследование влияния стохастичности свойств горных пород на величину шага обрушения пород кровли при отработке пологих угольных пластов длинными очистными забоями [Текст] / В.Н. Фрянов,

А.Ю. Ермаков, О.В. Ванякин // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. трудов. – Новокузнецк, 2011. – С. 125 – 132.

102. Лазаревич Т.И. Об изменении базовых геомеханических параметров в условиях использования интенсивных технологий подземной добычи угля [Текст] / Т.И. Лазаревич, А.Н. Поляков // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. трудов. – 2015. – С. 314 – 322.

103. Нацаренус П.А. Исследование, прогноз и борьба с пучением почвы подготовительных выработок [Текст] / П.А. Нацаренус, И.И. Кайдо, А.Н. Златицкий // Уголь. – 1985. – №4. – С. 59 – 60.

104. Орлов Ю.Д. Распределение нагрузки на целики с увеличением глубины разработки [Текст] / Ю.Д. Орлов, Б.Н. Севостьянов, А.Е. Удалов // Сб. научн. трудов ВНИМИ. – 1986. – С. 92 – 97.

105. Ковтун В.Я. Влияние способов и средств управления кровлей на характер и величину нагрузки на угольный пласт [Текст] / В.Я. Ковтун, В.П. Карандашов // Аналитические методы и вычислительная техника в механике горных пород : материалы XV научно-координационного совещания по проблемам горного давления. – Новосибирск : ИГД СО АН СССР, 1975. – С. 128 – 132.

106. Смирнов О.В. Автоматизированный прогноз динамических явлений [Текст] / О.В. Смирнов [и др.] // Добывающая промышленность. – 2016. – № 2[02]. – С. 56 – 62.

107. Система локального и текущего контроля состояния горного массива «Микон-ГЕО» [Электронный ресурс]. - Екатеринбург : ООО «ИНГОРТЕХ», 2012. – Режим доступа: <http://www.ingortech.ru/uslugi/item/228> - 09.07.2012.

108. Романов В.В. Обзор геофизических методов, применяемых при поиске геомеханических нарушений вблизи горных выработок [Текст] / В.В. Романов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 1. – С. 243 – 248.

109. Управление геомеханическими процессами при отработке угольных пластов короткими забоями [Текст] / В.Н. Фрянов [и др.]. – Кемерово : Академия горных наук, 1999. – 110 с.

110. Павлова Л.Д. Моделирование геомеханических процессов в разрушаемом углепородном массиве [Текст] / Л.Д. Павлова. – Новокузнецк : СибГИУ, 2005. – 239 с.

111. Корнев Е.С. Численное моделирование геомеханических процессов при короткозабойной отработке угольных пластов: монография [Текст] / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов. – Прага : Vědecko vydavatelské centrum «Sociosféra-CZ», 2014. – 206 с.

112. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 2673. Пространственная расчётная модель динамического блочного обрушения горных пород с последовательным накоплением повреждений [Текст] / В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова; дата регистр. 05.06.2003. – М. : Роспатент, 2003.

113. Фрянов В.Н. Моделирование напряжённо-деформированного состояния горного массива при отработке выемочного столба сложной формы [Текст] / В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2017. – Том 4, № 2 – С. 169 – 174.

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

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

116. Волошин В.А. Закономерности формирования зон повышенного горного давления под влиянием угольного целика-штампа при отработке

свиты пластов [Текст] / В.А. Волошин [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 7. – С. 23 – 29.

117. Черепов А.А. 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] / А.А. Черепов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Физика. Томский гос. университет. – 2012. – Т. 55, № 7/2. – С. 139 – 143.

118. Полевщиков Г.Я. Фрактальная особенность структуризации массива горных пород в изменениях давления на призабойную часть угольного пласта, обрабатываемого длинным очистным забоем [Текст] / Г.Я. Полевщиков [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – №1.1. – С. 16 – 23.

119. Климов В.Г. Разработка удароопасных угольных пластов на примере выемочного участка лавы 3-32 филиала «Шахта «Алардинская» ОАО «ОУК «Южкузбассуголь» [Текст] / В.Г. Климов, В.Г. Тюхрин, А.А. Черепов // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов : материалы междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2012. – С. 79 – 87.

120. Булычёв Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах [Текст] / Н.С. Булычев. – М. : Недра, 1989. – 270 с.

121. Кузнецов Г.Н. Предельные состояния твёрдых горных пород с учётом пространственной ориентировки поверхностей ослабления [Текст] / Г.Н. Кузнецов // Труды ВНИМИ. – Л., 1961. – № 43. – С. 98 – 112.

122. Черданцев Н.В. Условия перехода пород кровли угольного пласта в предельно напряжённое состояние впереди очистного забоя [Текст] / Н.В. Черданцев // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2017. – № 2. – С. 51 – 58.

123. Опарин В.Н. О влиянии волн маятникового типа от землетрясений на геодинамическую активность угольных шахт Кузбасса [Текст] / В.Н.

Опарин [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – № 1. – С. 3 – 15.

124. Ермакова И.А. Аналитическая оценка минимальной ширины ленточных целиков при пологом залегании пластов [Текст] / И.А. Ермакова, Н.Н. Пириева // Научно-технические проблемы разработки и использования минеральных ресурсов : материалы междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2015. – С. 88 – 91.

125. Серяков В.М. Обоснование геомеханических параметров разработки свиты пологих пластов [Текст] / В.М. Серяков // Научно-технические проблемы разработки и использования минеральных ресурсов. – 2017. – № 3. – С. 47 – 51.

126. Гоголин В.А. Деформационные и прочностные характеристики хрупких горных пород при сжатии [Текст] / Гоголин В.А. // Вестник КузГТУ. – 2016. – №3. – С. 3 – 7.

127. Тациенко В.П. Оценка напряжённого состояния угольного массива и прогноз степени удароопасности при отработке угольных пластов короткими забоями / В.П. Тациенко, А.В. Песиков // Вестник КузГТУ. – 2003. – № 1. – С. 5 – 8.

128. Черданцев Н.В. Исследования состояния массива горных пород в окрестности выработки, пройденной вблизи геологического нарушения [Текст] / Н.В. Черданцев, С.В. Черданцев // Вестник КузГТУ. – 2015. – № 5. – С. 3 – 10.

129. Метан и выбросоопасность угольных пластов [Текст] / С.А. Шепелева [и др.]. – Томск : Изд-во томского ун-та, 2015. – 180 с.

130. Якоби О. Практика управления горным давлением : пер. с нем. [Текст] / О. Якоби. – М. : Недра, 1987. – 566 с.

131. Шемякин Е.И. Применение упруго-пластического анализа при измерении напряжений в горных породах [Текст] / Е.И. Шемякин // Измерения напряжений в массиве горных пород: материалы III семинара 27.09.1971. – Новосибирск, 1971. – С. 7 – 17.

132. Шемякин Е.И. Применение упруго-пластического анализа при измерении напряжений в горных породах [Текст] / Е.И. Шемякин // Проблемы механики горных пород: материалы всесоюзн. науч. конф. по механике горных пород. – Новосибирск : Наука, 1971. – С. 447 – 454.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение А

#### Титульный лист технологического регламента



Акционерное Общество  
«Научный центр ВостНИИ по безопасности работ в горной  
промышленности»  
(АО «НЦ ВостНИИ»)

650002, Российская Федерация, г. Кемерово, ул. Институтская, 3  
Телефон: 8(3842) 64-30-99  
Телефон/факс: 8(3842) 64-44-42  
e-mail: main@nc-vostnii.ru

ОГРН 1074205023507  
ИНН 4205143102  
КПП 420501001

Утверждаю  
Тех. директор "ООО РСК"  
  
Чернов А.А.  
01.01.17

Генеральный директор  
АО «НЦ ВостНИИ»  
Ю.М. Филатов  
  
« 17 » \_\_\_\_\_ 2016г.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ  
ПО БЕЗОПАСНОЙ ОТРАБОТКЕ ЗАПАСОВ ПЛАСТА III,  
СКЛОННОГО К ДИНАМИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ, СИСТЕМОЙ  
РАЗРАБОТКИ КОРОТКИМИ ЗАБОЯМИ, В УСЛОВИЯХ  
ЗАО «РАСПАДСКАЯ-КОКСОВАЯ» ОЛЬЖЕРАССКОГО  
КАМЕННОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

## Приложение В

### Справка АО «НЦ ВостНИИ» о подтверждении новизны и актуальности результатов научных исследований



Акционерное Общество  
«Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической  
безопасности в горной отрасли»  
(АО «НЦ ВостНИИ»)

650002, Российская Федерация, г. Кемерово, ул. Институтская, 3 ОГРН 1074205023507  
Телефон: 8(3842) 64-30-99 ИНН 4205143102  
Телефон/факс: 8(3842) 64-44-42 КПП 420501001  
e-mail: main@nc-vostnii.ru

#### Справка

**О подтверждении новизны и актуальности результатов научных исследований в кандидатской диссертации Черепова А.А., выполненной для геомеханического обеспечения короткозабойных систем подземной разработки склонных к горным ударам мощных угольных пластов**

Результаты исследований, полученные А.А. Череповым в диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук, рассмотрены на заседании Научно-технического совета (НТС) АО «НЦ ВостНИИ» 26.04.2017г. НТС подтвердил актуальность и новизну и полученных результатов исследований в части создания и использования разработанного комплексного метода геомеханического обеспечения короткозабойных систем подземной разработки склонных к горным ударам мощных угольных пластов.

НТС отметил, что результаты исследований позволяют разрабатывать документацию по геомеханическому обеспечению технологии отработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных пластов в условиях, не регламентированных действующими нормативными документами.

По результатам доклада А.А. Черепова и его рекомендациям принято решение о создании рабочей группы из специалистов профильных учреждений для корректировки нормативно-правовой и методической документации по применению короткозабойных систем разработки на угольных шахтах России.

Результаты исследований А.А. Черепова в связи с высокой актуальностью и научной ценностью рекомендовать для представления в диссертационный совет в качестве кандидатской диссертации.

Секретарь НТС  
Заведующий лабораторией  
Горной геомеханики, к.т.н.

Семенов В.В.

Генеральный директор  
АО «НЦ ВостНИИ»



Ю.М. Филатов

## Приложение С

### Справка АО «НИИГД» о подтверждении научной и практической ценности результатов научных исследований



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА»  
(АО «НИИГД»)



650002, Российская Федерация, г. Кемерово, проспект Шахтеров, 14  
телефон/факс: 8 (3842) 64-19-60, e-mail: info@rosniigd.ru



Утверждаю

Генеральный директор, к.т.н.

А.С. Ярош

#### Справка

**О подтверждении научной и практической ценности результатов научных исследований, изложенных в кандидатской диссертации Черепова А.А., посвящённой геомеханическому обеспечению систем разработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов**

Результаты диссертационного исследования доложены на заседании научного семинара «Научно-исследовательского института горноспасательного дела» (АО «НИИГД»). Черепов А.А. подробно изложил результаты исследований, которые обобщены в виде научных положений, практической значимости, выводов и рекомендаций.

Семинар отмечает научную новизну результатов исследований, реализованных в разработанной методике количественного определения коэффициента дезинтеграции угля и пород в окрестности выработок, выявленных закономерностях распределения параметров напряжённо-деформированного состояния углепородного массива в окрестности системы камер и угольных целиков, экспресс-методе прогноза коэффициента формы выработанного пространства при сложном геометрическом расположении подготовительных выработок.

В ходе обсуждения доклада подтвержден личный вклад соискателя в организацию и проведение шахтных экспериментов, выявление представленных закономерностей и зависимостей, обоснование выводов и рекомендаций для условий действующей шахты.

Семинар постановил результаты проведенных исследований А.А. Черепова, как соответствующие требованиям Положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней, рекомендовать для представления в установленном порядке в диссертационный совет в качестве кандидатской диссертации.

Заведующий лабораторией  
АО «НИИГД», д.т.н., проф.

 В.Б. Попов

## Приложение Д

## Справка УК «Распадская» об экономической эффективности отработки запасов КСО



Справка об экономической эффективности отработки запасов КСО в условиях ш. Распадская - Коксовая

		Ед. изм.	
Объем вынимаемых запасов из блоков КСО (1-1, 1-2)		т.т.	446
Период отработки блоков		май'15 - июль'16	
Объем попутной добычи при подготовке блоков		т.т.	183
Период подготовки блоков		янв'15 - июль'16	
<b>ИТОГОВЫЙ объем добычи марки К</b>		т.т.	<b>630</b>
Объем реализации рядовым углем		т.т.	34
Объем реализации в концентрате		т.т.	387
Выручка от реализации (включая промпродукт)		млн.р	2 144
Cash Cost добычи		млн.р	1 407
		руб/тн	2 234
<i>Вспомогательные материалы</i>		млн.р	292
<i>Энергозатраты</i>		млн.р	112
<i>Зарплата и начисления ППП</i>		млн.р	677
<i>Услуги сторонних организаций</i>		млн.р	239
<i>Налоги в себестоимости</i>		млн.р	79
<i>Прочие расходы</i>		млн.р	7
Управленческие расходы		млн.р	172
Услуги обогащения, коммерческие расходы		млн.р	139
Социальные расходы		млн.р	45
ЕВИТДА		млн.р	381
CAPEX на поддержание*		млн.р	153
FCF		млн.р	227

\* - без учета инвестиций в реализацию проекта

Директор по финансам и экономике

Исп. Кузнецов С.Л.  
Тел. 99-59-30

