

На правах рукописи



ПИРИЕВА НАТАЛЬЯ НИКОЛАЕВНА

**УСТАНОВЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗОН РАЗРУШЕНИЯ В
ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКАХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОЛОГИХ
УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева».

Научный руководитель Ермакова Инна Алексеевна,
доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры математики Федерального
государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Кузбасский
государственный технический университет имени
Т. Ф. Горбачева»

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

Сидоров Дмитрий Владимирович,
доктор технических наук, декан факультета
аспирантуры и докторантуры Федерального
государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Санкт-
Петербургский горный университет»

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт горного дела
им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения
Российской академии наук

Защита диссертации состоится 27.12.2017 в 11:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.102.02 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, факс (3842) 58-33-80, e-mail: rector@kuzstu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» и на сайте организации по адресу:

<http://science.kuzstu.ru/activities/gos-attestation/soresearchers/>

Автореферат разослан « » _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Иванов В. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Подземная разработка угольных месторождений предусматривает наличие предохранительных целиков различного предназначения: под объектами на поверхности, междушахтные целики, для сохранения капитальных и подготовительных выработок, в частности, под уклоны и штреки. Размеры таких целиков по простиранию достигают 300 м, а по восстанию – 1000 и более метров. Так, на шахтах «АО «СУЭК-Кузбасс» запасы угля в предохранительных целиках различного предназначения составляют 83 млн т., что составляет 12,5 % от промышленных запасов угля. Учитывая запасы угля в предохранительных целиках и их размеры, следует рассмотреть возможность выемки этих целиков, как альтернативный вариант вскрытию и подготовке новых горизонтов.

Для решения проблемы отработки предохранительных целиков следует учитывать, что целики находятся в сложных горнотехнических условиях, обусловленных наличием в них подготовительных выработок, влиянием отработанных по границам целиков выемочных полей, а также попадают в зоны подработки и надработки. На первом этапе решения этой проблемы необходимо установить размеры зон разрушения в целиках. Это позволит оценить доступные для выемки объемы угля и обоснованно выбрать технологию отработки предохранительных целиков.

Разрушение угля в краевых частях предохранительных целиков происходит при запредельном деформировании угля. Существующие методики расчета напряженного состояния угольных целиков и определения размеров зоны разрушения их краевых частей не учитывают запредельное деформирование угля. В этой связи, установление размеров зон разрушения в предохранительных целиках при отработке пологих пластов с учетом запредельного деформирования является актуальной задачей горной геомеханики.

Диссертация соответствует паспорту специальности:

25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» пункту:

13. Изучение напряженно-деформированного состояния и процессов разрушения горных пород методами математического моделирования и лабораторного эксперимента.

Объектом исследований являются предохранительные целики под уклоны и штреки на угольных шахтах, разрабатывающих пологие пласты.

Предметом исследований является напряженное состояние угольных предохранительных целиков при их запредельном деформировании.

Цель работы – установить размеры зон разрушения в предохранительных целиках на угольных шахтах, разрабатывающих пологие пласты, для обоснования технологических решений об их отработке.

Идея работы заключается в использовании модели запредельного деформирования угля и учете горно-геологических и горнотехнических факторов для установления зон разрушения в предохранительных целиках.

Задачи исследований:

- разработать методику расчета размеров зон разрушения в предохранительных целиках с учетом запредельного деформирования;
- установить влияние расположения подготовительных выработок в предохранительных целиках на размеры зон разрушения;
- установить закономерности изменения размеров зон разрушения в предохранительных целиках от глубины залегания, мощности пласта и прочности угля на сжатие.

Методы исследований. При решении поставленных задач применяется комплексный метод, включающий в себя:

- аналитический обзор результатов исследования напряженно-деформированного состояния горных пород при очистной выемке угольных пластов;
- численный метод конечных элементов решения задач геомеханики;
- метод буровой мелочи для натурных исследований состояния краевых частей угольных пластов в окрестности лавы;
- методы регрессионного и корреляционного анализа обработки результатов экспериментальных и теоретических исследований.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Использование модели запредельного деформирования для краевой части угольного пласта позволяет рассчитать вертикальные напряжения на целик и длину зоны разрушения с точностью до 15%.

2. Влияние подготовительной выработки на разрушение краевой части целика начинает проявляться на расстоянии до выработанного пространства, линейно зависящим от отношения глубины разработки к прочности угля на сжатие, и для рассматриваемых условий составляет 20 м.

3. Длина зоны разрушения краевых частей целиков находится в линейной зависимости от мощности пласта и в логарифмической зависимости от глубины залегания целика; при увеличении глубины

разработки от 200 до 500 м и мощности пласта от 2 до 5 м длина зоны разрушения увеличивается в $2,2 \div 2,9$ раза в зависимости от прочности угля на одноосное сжатие.

Научная новизна диссертации состоит:

- в использовании модели запредельного деформирования для расчета размеров зон разрушения в предохранительных целиках на угольных шахтах;
- в установлении расстояния от подготовительной выработки в целике до выработанного пространства, при котором наличие выработки оказывает влияние на длину зоны разрушения краевой части целика;
- в установлении закономерностей изменения размеров зон разрушения краевых частей целиков в зависимости от мощности пласта, глубины его залегания и прочности угля на одноосное сжатие.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечиваются:

- использованием современных представлений геомеханики о напряженно-деформированном состоянии горных пород при разработке угольных месторождений;
- точностью проведения вычислительных расчетов по методу конечных элементов;
- сопоставимостью расчетных и измеренных размеров зон разрушения краевых частей целиков.

Личный вклад автора заключается в обосновании методики расчета размеров зон разрушения предохранительных целиков; в установлении закономерностей изменения размеров зон разрушения в предохранительных целиках от горно-геологических и горнотехнических факторов при анализе результатов численных расчетов; в установлении размеров зон разрушения в краевых частях предохранительных целиков по пластам Полысаевский-II, Надбайкаимский, Байкаимский на шахте им. А. Д. Рубана АО «СУЭК-Кузбасс».

Отличие от ранее выполненных работ заключается в том, что

- при использовании программы по реализации метода конечных элементов в краевую часть пласта вводится блок угля, находящегося в состоянии запредельного деформирования;
- при установлении длины зон разрушения в предохранительных целиках использовалось условие прочности при объемном сжатии, учтена слоистость массива вмещающих пород и горнотехнические условия.

Научное значение работы заключается в развитии теории расчета целиков с учетом запредельного деформирования и установлении закономерностей изменения длины зон разрушения в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий.

Практическое значение работы заключается в разработке методики расчета размеров зон разрушения в предохранительных целиках на угольных шахтах, разрабатывающих пологие пласты, позволяющей обосновать технологические решения об отработке целиков

Реализация работы. Результаты работы вошли в «Методические рекомендации по определению размеров разрушенных зон предохранительных целиков на действующих добывающих предприятиях АО «СУЭК-Кузбасс» и применены на шахте им. А. Д. Рубана АО «СУЭК-Кузбасс» по пластам Полысаевский-II, Надбайкаимский, Байкаимский.

Апробация работы. Содержание и основные положения диссертации докладывались и обсуждались на IV Международной научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития угольных регионов России» (Прокопьевск, 2014); на Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» (Новокузнецк, 2015); на XI Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах» (Кемерово, 2015); на Всероссийской научно-практической конференции «Информационные и телекоммуникационные системы и технологии (Кемерово, 2015); на Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2016» (Москва, 2016); на VIII Международной научно-практической конференции «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: Геомеханическое обеспечение проектирования и сопровождения горных работ» (Санкт-Петербург, 2017).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, из них 4 – в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 116 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 110 источников, включает 45 рисунков и 16 таблиц.

Автор выражает искреннюю признательность заслуженному деятелю науки РФ, д.т.н., профессору В. В. Першину за помощь и поддержку при выполнении работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ промышленных запасов и запасов угля в предохранительных целиках на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», разрабатывающих пологие пласты; современного состояния геомеханики угольных месторождений, а также методов и результатов исследований напряженно-деформированного состояния целиков и угольных пластов.

Действующий Федеральный Закон «О недрах» (Закон РФ от 21.02.1992 N 2395-1 "О недрах", п. 23) перечисляет основные требования по рациональному использованию и охране недр, одним из которых является обеспечение наиболее полного извлечения из недр запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и попутных компонентов.

Суммарные запасы угля в предохранительных целиках на действующих шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» составляют 83166 тыс. тонн или 12,5% от промышленных запасов (Таблица 1).

Таблица 1. Запасы угля на действующих шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» по состоянию на 01.01.2017 г.

№ п/п	Шахта	Промышленные запасы, тыс.т.	Запасы в предохранительных целиках, тыс.т.
1	Шахта им. С.М. Кирова	196 846	8 869
2	Шахта им. А.Д. Рубана	10 553	8 439
3	Шахта им. 7 ноября	0	223
4	Шахта Полысаевская	31 232	11 734
5	Шахта Комсомолец	59 467	12 942
6	Шахта Котинская	50 342	4 919
7	Шахта им. В.Д. Ялевского	56 040	5 154
8	Шахта Талдинская Западная-1	57 470	25 164
9	Шахта Талдинская Западная -2	203 324	5 722
	Итого	665 274	83 166

Примеры предохранительных целиков, перспективных для отработки, приведены на рисунке 1.

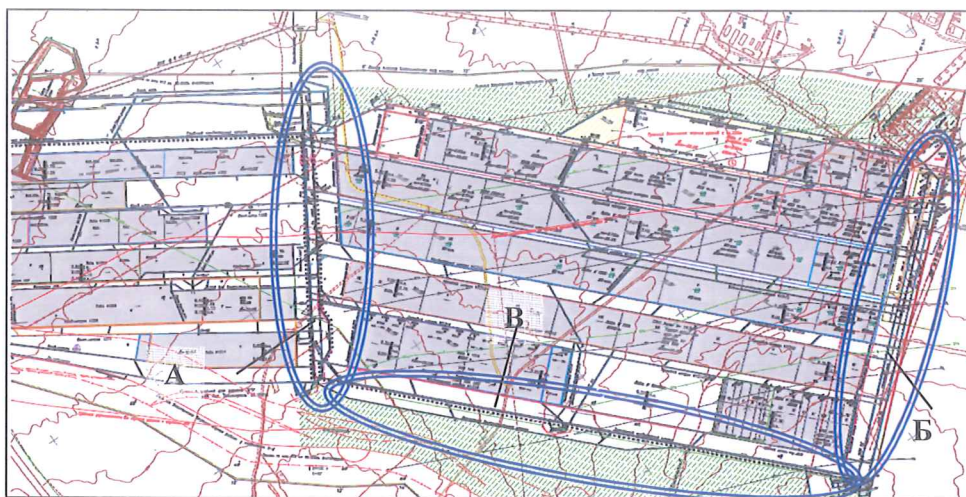


Рисунок 1. План горных работ по пласту Байкаимский на шахте им. А. Д. Рубана с выделением предохранительных целиков под уклоны (А, Б) и дренажные штреки (В)

Для отработки предохранительных целиков необходимо знать их напряженное состояние, которое существенно отличается от напряженного состояния пласта в нетронутом массиве горных пород. Уровень напряжений позволит оценить прочность краевых частей целиков и размеры зон разрушений в них.

Основные результаты исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) разрабатываемых угольных пластов и целиков получены аналитическими и численными методами геомеханики. Они отражены в работах И. М. Петухова, А. М. Линькова, И. В. Баклашова, Б. А. Картозии, А. Г. Протосени, А. П. Господарикова, В. В. Зубкова, М. В. Курлени, В. Е. Миренкова, С. В. Кузнецова, В. Н. Одинцева, Б. З. Амусина, А. Б. Фадеева, С. Н. Комиссарова, В. М. Серякова, Л. Д. Павловой, В. Н. Фрянова, Н. В. Черданцева, С. В. Черданцева, Ю. А. Рыжкова, В. А. Гоголина и других авторов.

Экспериментальный цикл исследований НДС массивов горных пород в различных горно-геологических и горнотехнических ситуациях выполнен В. В. Дырдиным, П. В. Егоровым, В. В. Ивановым, Т. И. Лазаревич, В. Н. Опариным, А. А. Реневым, Б. Г. Тарасовым, А. В. Шадриним и другими учеными, использовавшими наиболее эффективные геофизические методы. К сожалению, использование экспериментальных методов исследования НДС целиков затруднено по причине недоступности объекта исследований в большинстве случаев.

Анализ существующих методик расчета напряженно-деформированного состояния целиков показал необходимость их совершенствования в направлении учета запредельных свойств угля, горнотехнических факторов и слоистости вмещающих пород.

Во второй главе разработана методика расчета размеров зон разрушения предохранительных целиков методом конечных элементов с учетом его запредельного деформирования:

В работе рассматривалось поперечное сечение целика, в котором реализуется плоскодеформированное состояние горных пород. В этом сечении выделялась расчетная область прямоугольной формы, включающая следующие блоки: угольный целик 1; обрушенное пространство 2; вмещающие породы 3 (рисунок 2).

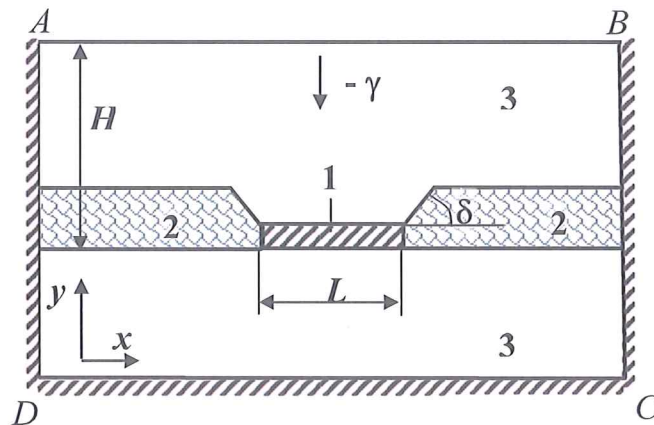


Рисунок 2. Расчетная схема

На верхней границе расчетной области AB нагрузки отсутствуют (дневная поверхность). На нижней границе CD и вертикальных границах BC и AD , удаленных от целика, отсутствуют нормальные смещения (граница закреплена) и касательные напряжения.

1 этап расчетов. Напряженно-деформированное состояние расчетной области описывалось линейно деформируемым поведением блоков. Все блоки нагружены собственным весом. Задачи решались методом конечных элементов (МКЭ) по лицензионной программе «ELCUT», которая позволяет получить распределение вертикальных напряжений (рисунок 3), деформаций (рисунок 4а) и смещений (рисунок 4б).

Пример применения методики показан для следующих условий: мощность и ширина целика составляют 2 м и 300 м соответственно, прочность угля на сжатие — 10 МПа; глубина залегания — 300 м;

деформационные характеристики вмещающих пород и пласта соответственно: $E_{\text{вп}}=2 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$; $\nu_{\text{вп}}=0,2$; $E=10^{10} \text{ Н/м}^2$; $\nu=0,25$.

На 2 этапе расчетов в краевую часть целика вводится блок угля с иными деформационными свойствами, позволяющий учесть запредельное деформирование угля (рисунок 5). Для этого вычисляется предел прочности пласта на сжатие $\sigma_{\text{сж}}^{\text{пл}}$, по формуле, установленной В. А. Гоголиным:

$$\sigma_{\text{сж}}^{\text{пл}} = \gamma H + \frac{\sigma_{\text{сж}}}{1 + \nu}, \quad (1)$$

где H – глубина разработки, м; γ – объемный вес вмещающих пород, Н/м^3 ; $\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности угля на одноосное сжатие, Па; ν – коэффициент поперечных деформаций угля.

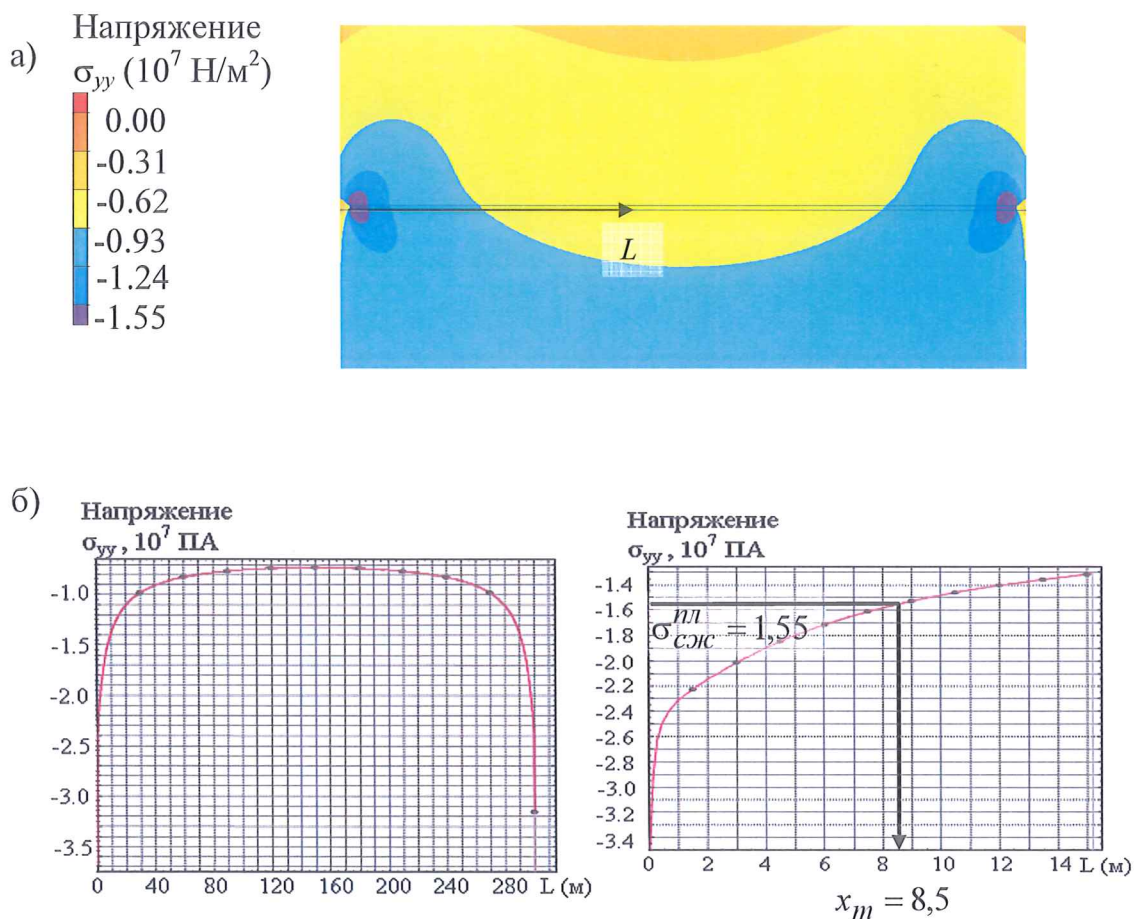


Рисунок 3. Распределение вертикальных напряжений в массиве горных пород (а) и в целике (б) на расстоянии L от левой границы целика

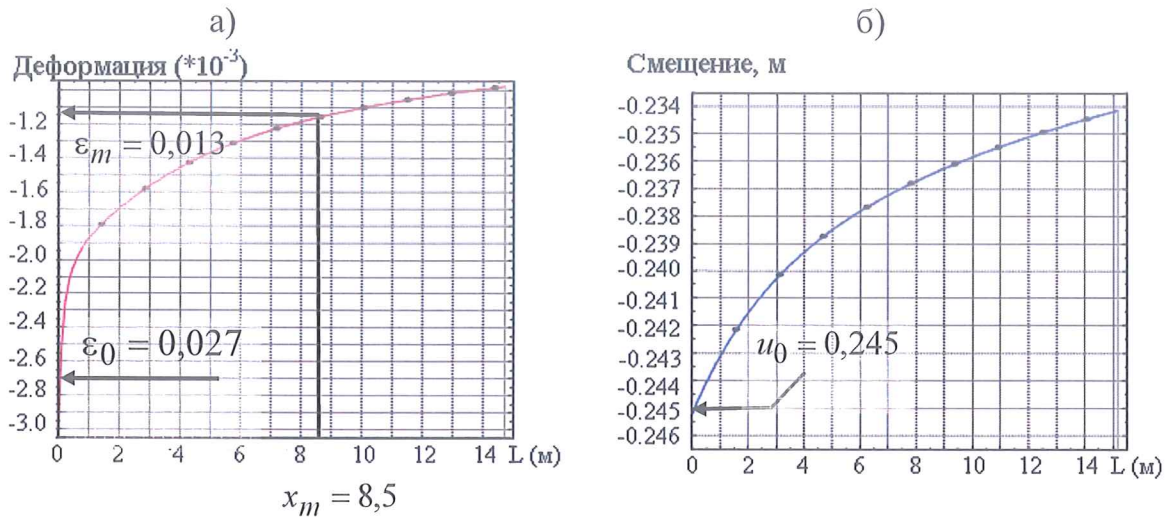


Рисунок 4. Распределение вертикальных деформаций (а) и вертикальных смещений целика (б) на расстоянии L от левой границы целика

По вычисленному значению предельной прочности пласта $\sigma_{сж}^{пл} = 15,5$ МПа находится (см. рисунок 3б) длина зоны разрушения (запредельных деформаций) $x_m = 8,5$ м, которая равна расстоянию до максимума опорного давления.

Затем по графику вертикальных деформаций краевой части целика (рисунок 4а) находится деформация в точке максимума опорного давления $\epsilon_m = \epsilon_{сж}^{пл} = 0,013$ и максимальная деформация сжатия целика у границы целика с обрушенными породами $\epsilon_0 = 0,027$.

Модуль деформации блока ослабленного угля находится как

$$E_1 = \frac{\sigma_{сж}^{пл} - (\epsilon_0 - \epsilon_{сж}^{пл}) \cdot E}{\epsilon_0}. \quad (2)$$

Далее находится величина вертикальных смещений (сжатия) u_0 краевой части целика (см. рисунок 4б).

Таким образом, в краевую часть целика вводится треугольный блок ослабленного угля, находящегося в состоянии запредельного деформирования, с модулем деформации E_1 ($E_1 = 5,56 \cdot 10^7$ Н/м²), длиной x_m ($x_m = 8,5$ м) и высотой u_0 ($u_0 = 0,245$ м) (см. рисунок 5).

Результат расчета распределения вертикальных напряжений (опорного давления) с учетом запредельного деформирования угля показан на рисунке 6. Зона наибольших напряжений сдвигается вглубь целика (рисунок 6а), а на графике распределения вертикальных напряжений (рисунок 6б) виден максимум опорного давления и расстояние до него x_m .

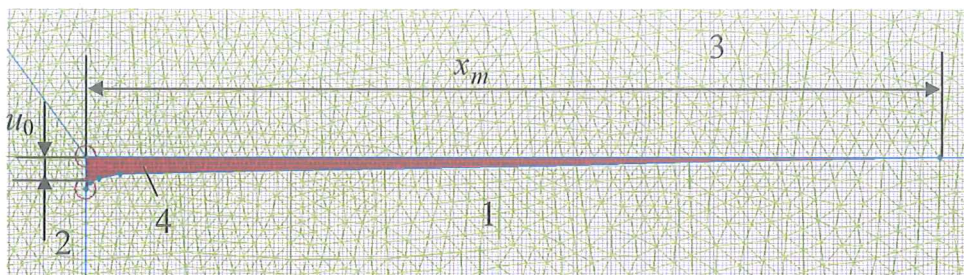


Рисунок 5. Часть расчетной области, включающей краевую часть целика (а): 1 – угольный целик; 2 – обрушенное пространство; 3 – вмещающие породы; 4 – блок ослабленного угля

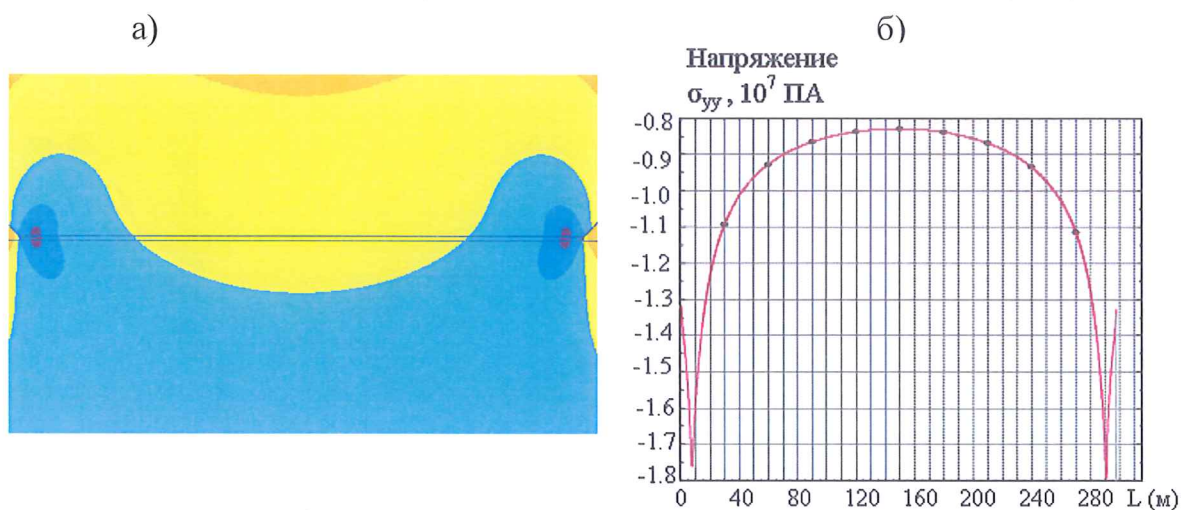


Рисунок 6. Распределение вертикальных напряжений в массиве горных пород (а) и в целике с учетом запредельного деформирования (б)

Экспериментальная проверка методики расчета размеров зон разрушения в целиках была проведена на шахте им. А. Д.Рубана АО «СУЭК-Кузбасс» по пласту Надбайкаимский в действующей лаве 1210. Было исследовано распределение опорного давления методом буровой мелочи.

Максимальный выход штыба наблюдался при бурении 7-го метра каждой скважины (рисунок 7). Расчеты длины зоны разрушения (расстояния до максимума опорного давления) в краевой части пласта Надбайкаимский, выполненные для горно-геологических и горнотехнических условий лавы № 1210 по разработанной методике, показали значение 6,5 м.

Значение максимума опорного давления по экспериментальным данным составило 12,47 МПа, а его расчетное значение – 14,25 МПа. Полученная согласованность расчетных и экспериментальных значений величины максимума опорного давления и расстояния до него показывает адекватность предлагаемой методики расчета длины зон разрушения в предохранительных целиках.

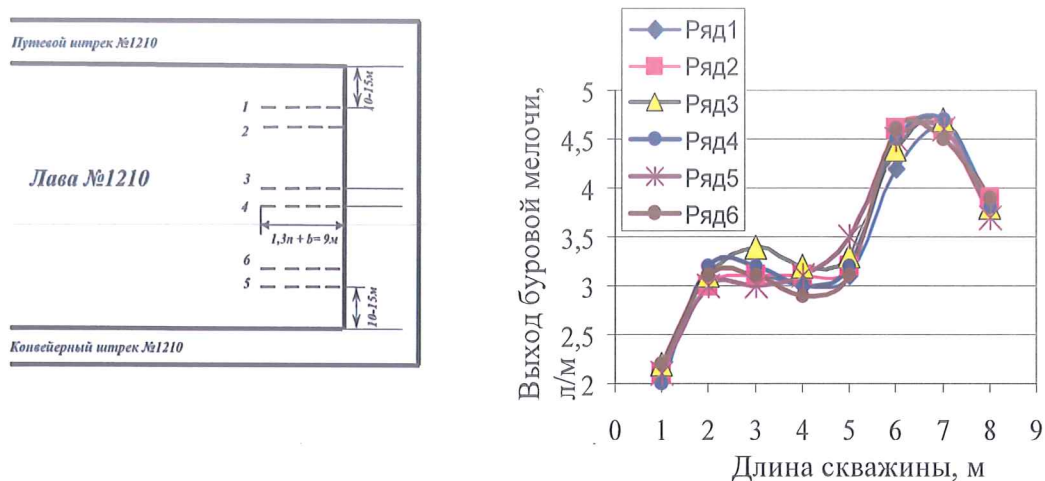


Рисунок 7. Схема бурения прогнозных шпуров и выход буровой мелочи из них

В третьей главе были изучены закономерности изменения размеров зон разрушения в предохранительных целиках.

Так как предохранительные целики содержат подготовительные выработки, такие как: штреки, уклоны, бремсберги, то следовало выяснить, как влияет расположение выработок на размеры зон разрушения в целике. Были проведены расчеты напряженного состояния целика мощностью 3 м и шириной 200 м с подготовительной выработкой, имеющей размеры уклонов: высота – 3 м, ширина – 4 м. Глубина разработки составляла 200, 300, 400, 500 м, прочность угля в целике на сжатие – 8, 10, 12 МПа.

На рисунке 8 показано изменение состояния краевой части целика шириной 200 м на глубине залегания 200 м с прочностью угля на сжатие 10 МПа при уменьшении расстояния от выработки до выработанного пространства. При этом в левой части целика нет выработки, а в правой его части выработка расположена на расстоянии 20, 15, 10 м от выработанного пространства. Проводилось сравнение размеров зон разрушения целика в левой и правой краевых частях целика.

При расстоянии от выработки до выработанного пространства 20 м и более (рисунок 8а), наличие выработки не оказывает влияния на размер зоны разрушения краевой части целика. В случае, когда расстояние от выработки до выработанного пространства уменьшается до 15 м и 10 м, зона разрушения краевой части целика распространяется до нее и за нее (рисунок 8б, в). В данном случае, расстояние от подготовительной выработки в целике до выработанного пространства, при котором начинает проявляться наличие выработки, $L_{вд} = 15$ м.

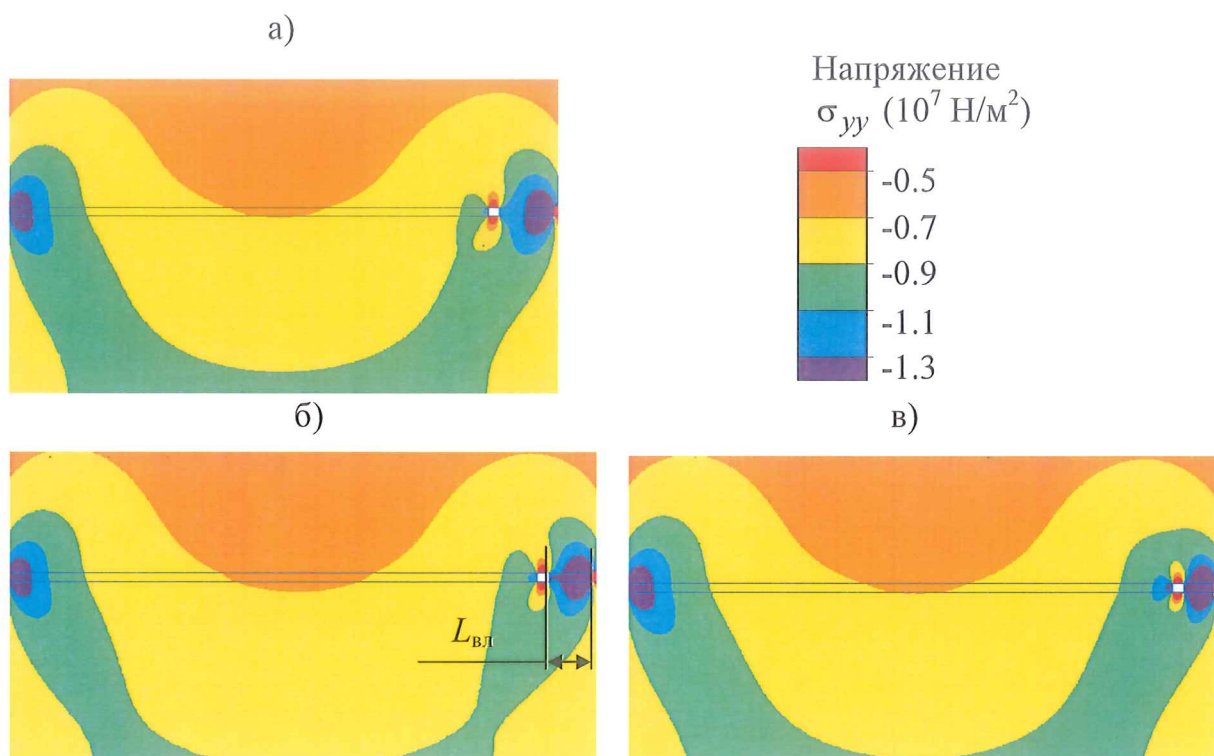


Рисунок 8. Распределение вертикальных напряжений в массиве горных пород при расположении уклона на расстоянии от выработанного пространства: 20 м (а); 15 м (б); 10 м (в)

Таким образом, были установлены значения расстояний, при которых выработка оказывает влияние на разрушения краевой части целика $L_{вл}$ в рассматриваемом диапазоне изменения глубины разработки и прочности угля.

Статистическая обработка полученных результатов позволила получить следующую значимую зависимость:

$$L_{вл} = 15,19 \frac{\gamma H}{\sigma_{сж}} + 0,88 \quad (R^2 = 0,8295). \quad (3)$$

Полученная зависимость позволяет устанавливать место проведения уклонов и штреков в целике относительно выработанного пространства лав. Так, при глубине разработки пластов на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» 400 м и прочности угля на сжатие 8 МПа расстояние от подготовительной выработки до выработанного пространства лав должно быть более 20 м.

Полученная формула (3) также верна для закрепленных анкерной крепью выработок. Как видно из рисунка 9, крепление выработки не влияет на длину зон разрушения целика между выработкой и обрушенными породами отработанной лавы.

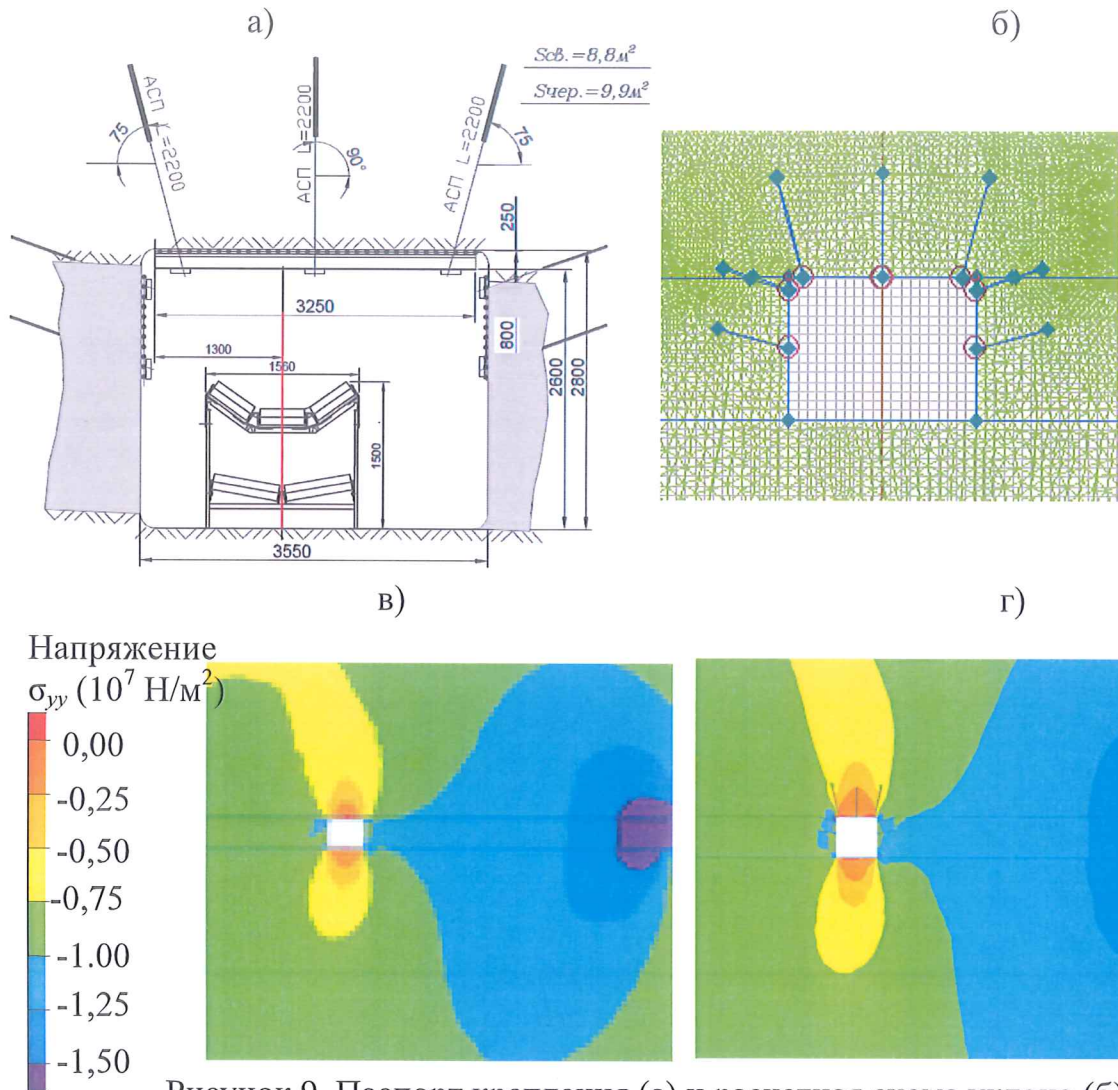


Рисунок 9. Паспорт крепления (а) и расчетная схема уклона (б); распределение вертикальных напряжений в целике без крепления уклона (в), и с креплением уклона – (г)

Далее исследовалось влияние глубины залегания, мощности и прочности целика на длину зоны разрушения целика. Численные эксперименты были проведены при следующих значениях: глубина разработки: $H=200, 300, 400, 500$ м; предел прочности угля на одноосное сжатие: $\sigma_{\text{сж}} = 8, 10, 12$ МПа; мощность угольного пласта: 2, 3, 4, 5 м; ширина целика: 300 м.

Значимые зависимости длины зоны разрушения краевой части целика от глубины разработки и мощности целика для различных значений прочности угля на сжатие прочности угля имеют следующий вид:

$$\text{при } \sigma_{\text{сж}} = 8 \text{ МПа: } x_m = (0,89m + 3,14) \cdot \ln H + (-2,77m - 9,83); \quad (4)$$

$$\text{при } \sigma_{\text{сж}} = 10 \text{ МПа: } x_m = (1,32m + 0,72) \cdot \ln H + (-5,46m + 0,1); \quad (5)$$

$$\text{при } \sigma_{\text{сж}} = 12 \text{ МПа: } x_m = (1,01m + 1,13) \cdot \ln H + (-4,43m - 3,29). \quad (6)$$

В четвертой главе приведено практическое использование разработанной методики расчета размеров зон разрушения в предохранительных целиках при разработке пологих угольных пластов.

В работе были рассмотрены три группы предохранительных целиков на шахте им. А. Д. Рубана АО «СУЭК-Кузбасс»: под путевые и конвейерные уклоны в шахтном поле и на границе шахтного поля, а также целики под штреки.

На рисунке 11 показаны планы горных работ в окрестности предохранительных целиков под путевые и конвейерные уклоны в шахтном поле (первая группа целиков).

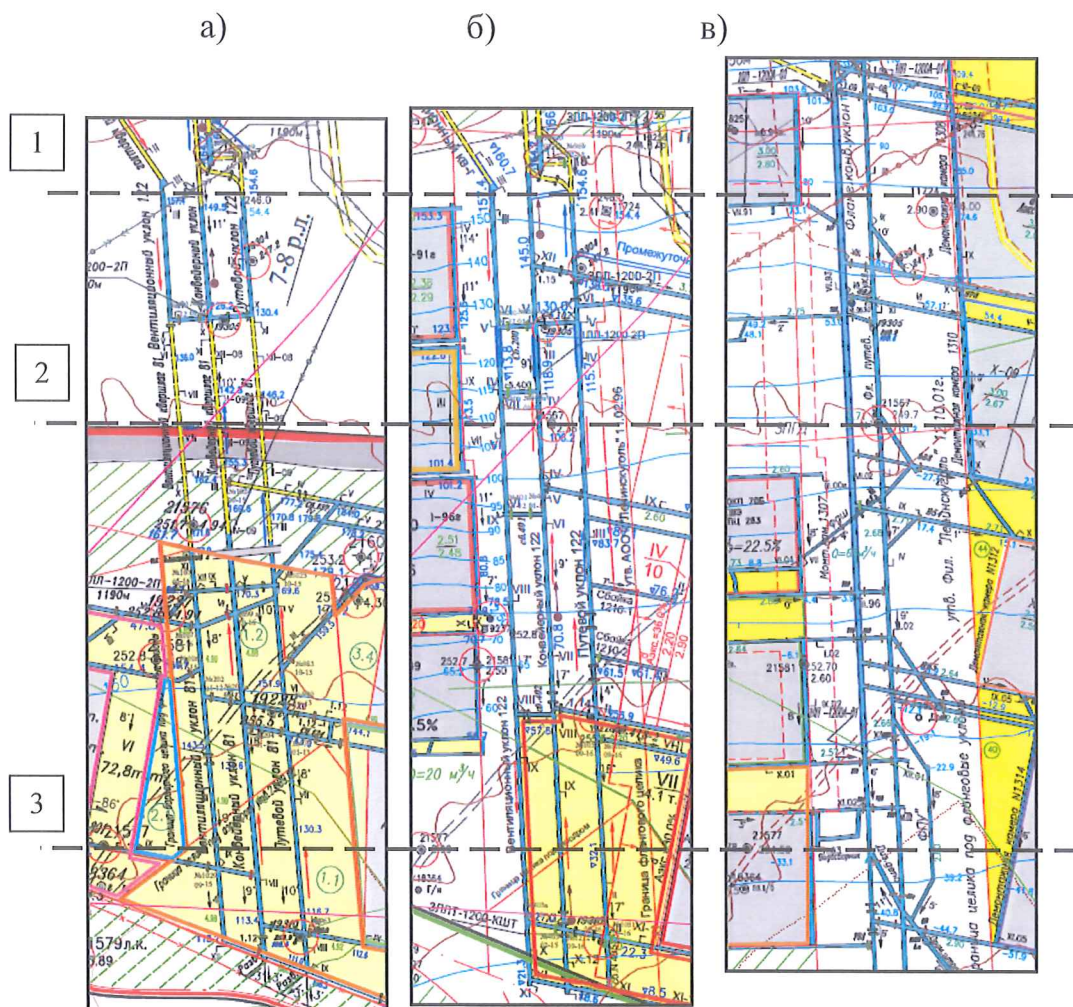


Рисунок 11. Планы горных работ в окрестности предохранительных целиков для уклонов по пластам: Полысаевский-II (а), Надбайкаимский (б), Байкаимский (в); 1, 2, 3 – плоскости сечений вблизи со скважинами 11724, 21567, 21577соответственно

Указанная шахта отрабатывает три пласта пологого падения:

- 1) пласт Полысаевский-II с глубиной залегания 80 – 124 м, углом падения 6 – 8° и мощностью от 4,40 до 5,4 м;
- 2) пласт Надбайкаимский с глубиной залегания 210 – 290 м, углом падения 3 – 7° и мощностью от 2,20 до 2,70 м;
- 3) пласт Байкаимский с глубиной залегания 245 – 285 м, углом падения 5 – 12° и мощностью от 2,20 до 2,85 м.

С увеличением глубины разработки длина предохранительного целика увеличивается. В частности, целик под фланговый конвейерный и путевой уклоны по пласту Байкаимский имеет общий размер 225 x 950 м с оценочными запасами 900 тыс. т (см. рисунок 11в).

Схема взаимного расположения рассматриваемых целиков с учетом планируемой отработки запасов по всем трем пластам показана на рисунке 12.

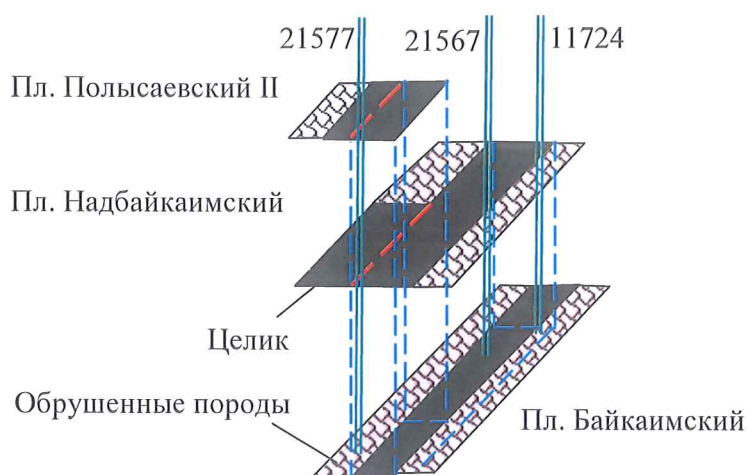


Рисунок 12. Схема расположения предохранительных целиков под уклоны по пластам с указанием скважин

— граница предохранительного целика под уклоны

При рассмотрении взаимного положения предохранительных целиков по всем трем пластам можно выделить три характерных сечения.

Сечение 1 – вблизи со скважиной 11724. Целик по пласту Байкаимский с обеих сторон граничит с выработанным пространством (см. рисунок 11в), в нем пройдены два уклона. По пластам Надбайкаимский и Полысаевский-II очистные работы не предусмотрены.

Сечение 2 – вблизи со скважиной 21567. Два целика по пластам Надбайкаимский и Байкаимский располагаются друг над другом и с обеих сторон граничат с выработанным пространством (см. рисунок 11б). В целике

по пласту Надбайкаимский пройдены три уклона, а в целике по пласту Байкаимский – два уклона. По пласту Полысаевский-II – нет очистных работ.

Сечение 3 – вблизи со скважиной 21577. Три предохранительных целика по пластам Полысаевский-II, Надбайкаимский и Байкаимский располагаются друг над другом (см. рисунок 11а). В каждом из них пройдены три уклона. Целики по пластам Полысаевский-II и Байкаимский с обеих сторон граничат с выработанным пространством. Целик по пласту Надбайкаимский граничит с выработанным пространством с одной стороны (слева).

При расчете размеров зон разрушения в целиках было учтено реальное строение кровли пластов. В таблице 3 приведены данные строения пород по скважине 21577. Аналогичные данные были получены для скважин 11724 и 21567.

Таблица 3. Строение пород по скважине №21577 (нижнее сечение)

	№	Описание пород по слоям	Глубина слоя от поверхности, м	Мощность слоя, м
1	1	Почвенно-растительный слой +наносы	0	60,0
2	2	Алевролит	60,0	25,6
3	3	Песчаник	85,6	14,4
4	4	Алевролит	100,0	24,9
5	5	Пл. Полысаевский-II	124,9	5,3
6	6	Алевролит +пл. Спутник	130,15	82,15
7	7	Пл. Надбайкаимский	213,3	2,7
8	8	Алевролит	215,0	2,5
9	9	Песчаник	217,5	67,3
10	10	Пл. Байкаимский	284,8	2,8
11	11	Алевролит	287,6	17,4

На рисунке 13 показаны распределения вертикальных напряжений по сечениям скважин. Зоны разрушения краевых частей целиков по пласту Байкаимский показаны фиолетовым цветом; по пласту Надбайкаимский – фиолетовым и голубым; по пласту Полысаевский-II – фиолетовым, голубым и желтым.

Суммарная длина зоны разрушения составляет:

- по пласту Полысаевский-II в нижнем сечении – 4 м;
- по пласту Надбайкаимский в нижнем сечении – 4,8 м; в среднем сечении – 2,4 м;

– по пласту Байкаимский: в нижнем сечении – 32,0 м; в среднем сечении – 12,8 м; в верхнем сечении – 14,0 м.

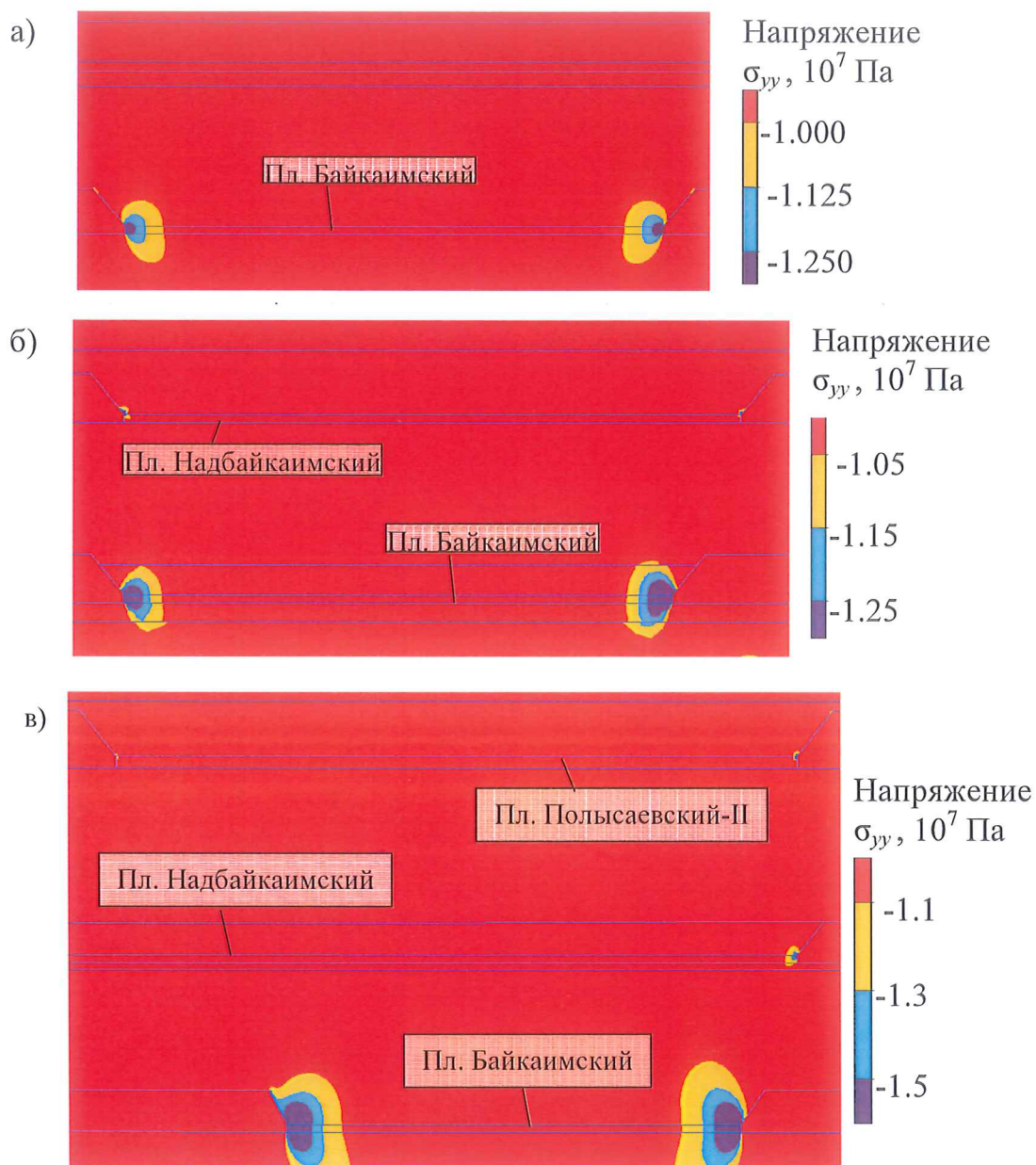


Рисунок 13. Распределение вертикальных напряжений σ_{yy} и зоны разрушения в предохранительных целиках в сечениях скважин: 11724 (а); 21567 (б); 21577 (в)

Таким же образом были проведены расчеты длины зон разрушения в предохранительных целиках под дренажные штреки и уклоны у границы шахтного поля.

Запасы угля в рассмотренных предохранительных целиках на шахте им. А. Д. Рубана и потери в зонах разрушения их краевых частей показаны в таблице 4.

Таблица 4. Запасы угля в предохранительных целиках на шахте им. А. Д. Рубана

Пласт	Запасы, тыс. т	Потери в зонах разрушения, %	Запасы с учетом зон разрушения, тыс. тонн
1. Целики под фланговые уклоны			
Полысаевский-II	442	1,3	436
Надбайкаимский	658	1,6	647
Байкаимский	900	9,4	815
2. Целики под дренажные конвейерные штреки			
Полысаевский-II	825	5,5	780
Надбайкаимский	825	16,3	691
Байкаимский	825	20,0	660
3. Целики под фланговые уклоны у границы шахтного поля			
Полысаевский-II	731	4,8	696
Надбайкаимский	505	5,0	480
Байкаимский	582	10,2	523
Всего	6293	9,0	5728

Ожидаемый экономический эффект от внедрения отработки предохранительных целиков по шахте им. А. Д.Рубана составит 721,4 млн руб./год. Суммарный годовой экономический эффект для АО «СУЭК-Кузбасс» составит 10 710,27 млн руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по установлению размеров зон разрушения в предохранительных целиках при разработке пологих пластов с учетом запредельного состояния целиков, влияния отработанных выемочных полей и слоистости вмещающих пород, что позволяет выполнять практические расчеты потерь угля в предохранительных целиках при отработке пологих пластов и вносит существенный вклад в развитие наук о Земле.

Основные научные и практические результаты исследований:

1. Значительные объемы запасов угля в предохранительных целиках на шахтах, разрабатывающих пологие пласты, представляют интерес с точки зрения их отработки, для чего необходимо оценить размеры зон разрушения целиков.

2. Разработана методика расчета длины зон разрушения целиков,

учитывающая запредельное состояние целиков и прочность угля при объемном сжатии с использованием метода конечных элементов.

3. Адекватность разработанной методики расчета длины зон разрушения целиков подтверждена путем сравнения расчетных значений параметров распределения опорного давления с результатами экспериментальных исследований на шахте им. А. Д. Рубана.

4. Установлено, что влияние подготовительной выработки на разрушение краевой части целика начинает проявляться на расстоянии до выработанного пространства, линейно зависящим от отношения глубины разработки к прочности угля на сжатие. Для шахт, разрабатывающих пологие пласты, подготовительные выработки в предохранительных целиках должны располагаться на расстоянии более 20 м от выработанного пространства лав.

5. Установлена зависимость длины зоны разрушения краевой части целика от глубины разработки (логарифмическая) и мощности целика (линейная) при различной прочности угля на одноосное сжатие. При увеличении глубины разработки от 200 до 500 м и мощности пласта от 2 до 5 м длина зоны разрушения увеличивается в $2,2 \div 2,9$ раза в зависимости от прочности угля на одноосное сжатие.

6. Установлены размеры зон разрушения в краевых частях предохранительных целиков по пластам Полысаевский-II, Надбайкаимский, Байкаимский на шахте им. А. Д. Рубана АО «СУЭК-Кузбасс». Потери угля в зонах разрушения краевых частей предохранительных целиков по шахте им. А. Д. Рубана не превосходят 20%. Эти данные могут быть использованы при обосновании технологии отработки этих предохранительных целиков.

7. Ожидаемый экономический эффект от внедрения отработки предохранительных целиков по шахте им. А. Д. Рубана составит 721,4 млн руб./год, а для АО «СУЭК-Кузбасс» – 10 710,27 млн руб./год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Пириева Н. Н.** Максимальная отработка запасов подземных угледобывающих предприятий / Н. Н. Пириева, В. В. Першин // Вестник КузГТУ. – 2012. – №1. – С. 26–27.

2. **Ермакова И. А.** Методика численного расчета состояния целиков с учетом запредельного деформирования / И. А. Ермакова, **Н. Н. Пириева** // Вестник КузГТУ. – 2016. – №4. – С. 3–8.

3. Ермакова И. А. Анализ геомеханического состояния предохранительных целиков на шахте им. А. Д. Рубана/ И. А. Ермакова, **Н. Н. Пириева**// Горный информационно–аналитический бюллетень (научно–технический журнал). – 2016.– № 7. – С. 193–199.

4. **Пириева Н. Н.** Экспериментальная оценка геомеханического состояния краевых частей пластов и целиков на шахтах АО «СУЭК–Кузбасс» / Н. Н. Пириева // Вестник КузГТУ. – 2016. – №6. – С. 24–29.

Прочие публикации:

5. Ermakova I. A. Considering behind limit deformation for calculation of coal pillars parameters by finite element method/ I. A. Ermakova, **N. N. Pirieva**// Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety. – 2016.– p. 90–93. (Индексирована в Web of Science)

6. Першин В. В. Обоснование возможности и разработка эффективных технологий отработки запасов угля, отнесенных в эксплуатационные потери/ В. В. Першин, **Н. Н. Пириева**// В сборнике: Перспективы инновационного развития угольных регионов России. Сборник трудов IV Международная научно–практическая конференция. – 2014. – С. 76–80.

7. Першин В. В. Оработка угольных пластов на шахтах нового технического уровня/ В. В. Першин, М. Д. Войтов, А. С. Зырянова, **Н. Н. Пириева** //В сборнике: Современные тенденции и инновации в науке и производстве: Материалы IV международной научно–практической конференции. – 2015. – С. 71–72.

8. Ермакова И. А. Предельная ширина межлавных целиков/ И. А. Ермакова, **Н. Н. Пириева**// В сборнике: Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах //Сборник материалов XI международной научно–практической конференции. Под редакцией Тайлакова О. В.– 2015. –С. 13.

9. Ермакова И. А. Аналитическая оценка минимальной ширины ленточных целиков при пологом залегании пластов/ И.А. Ермакова, **Н. Н. Пириева**// Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. –2015.– № 2.– С. 88–91.

10. **Пириева Н. Н.** Численный расчет геомеханического состояния предохранительного целика с выработками// Н. Н. Пириева, И. А.Ермакова. – В сборнике: Информационно–телекоммуникационные системы и технологии Всероссийская научно–практическая конференция. – 2015. – С. 231.