

**Министерство образования и науки Украины
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



**Р.Н. ТЕРЕЩУК
А.В. НАУМОВИЧ**

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК
ГЛУБОКИХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

МОНОГРАФИЯ

**Днепропетровск
НГУ
2015**

УДК 622.261.27

ББК 33.141

Т 35

Рекомендовано до друку вченою радою Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (протокол № 1 від 22.01.2015).

Рецензенти:

О.О. Сдвижкова – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри вищої математики Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет»;

Г.І. Гайко – доктор технічних наук, професор, професор кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Терещук Р.Н.

Т 35 Обеспечение устойчивости подготовительных выработок глубоких угольных шахт : монография / Р.Н. Терещук, А.В. Наумович ; М-во образования и науки Украины ; Нац. горн. ун-т. – Днепропетровск : НГУ, 2015. – 134 с.

ISBN 978-966-350-525-1

Изложены результаты исследований способа крепления и поддержания подготовительных выработок с учетом установленных авторами закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния породного массива вблизи выработанного пространства лавы в условиях больших глубин разработки. На основе выполненных исследований определены рациональные параметры комплексного способа предотвращения негативного воздействия горного давления на приконтурный массив подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ для горно-геологических условий шахты “Шахтерская-Глубокая”.

Материал монографии может быть использован студентами при изучении дисциплин горного профиля, а также специалистами научно-исследовательских и проектных организаций в их научной деятельности.

УДК 622.261.27

ББК 33.141

ISBN 978-966-350-525-1

© Р.М. Терещук, О.В. Наумович, 2015

© Державний ВНЗ «НГУ», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. Состояние угольной промышленности и подготовительных выработок в условиях больших глубин разработки	8
1.1. Общие сведения об угольной промышленности и состоянии протяженных выработок на шахтах Украины.....	8
1.2. Состояние подготовительных выработок в условиях шахт ГП «Шахтерскантрацит».....	13
ГЛАВА 2. Изучение проявлений горного давления в подготовительных выработках в условиях шахты “Шахтерская-Глубокая”	19
2.1. Общая характеристика шахты “Шахтерская-Глубокая”.....	19
2.1.1. Вскрытие шахтного поля.....	19
2.1.2. Подготовка шахтного поля.....	20
2.1.3. Охрана горных выработок на шахте.....	21
2.1.4. Система разработки.....	21
2.1.5. Проведение подготовительных выработок.....	22
2.1.6. Очистные работы.....	22
2.1.7. Характеристика качества угля и его использование.....	22
2.2. Горно-геологические и горнотехнические условия разработки на шахте “Шахтерская-Глубокая”.....	23
2.2.1. Стратиграфический разрез описываемого участка.....	24
2.2.2. Характеристика пластов угля и боковых пород.....	25
2.3. Выбор объекта исследований, обследование выработок и проведение инструментальных наблюдений.....	27
2.3.1. Выбор объекта исследований.....	27
2.3.2. Обследование выработок.....	28
2.3.3. Проведение инструментальных наблюдений.....	31
2.4. Анализ способов охраны и поддержания подготовительных выработок	39

2.5. Способ охраны и поддержания подготовительной выработки в условиях шахты “Шахтерская-Глубокая”	54
ГЛАВА 3. Исследования деформирования приконтурного массива и обоснование параметров способа охраны подготовительных выработок глубоких горизонтов на моделях из эквивалентных материалов....	59
3.1. Общие сведения о моделировании.....	59
3.2. Сущность метода моделирования на эквивалентных материалах.....	60
3.3. Подбор материалов для моделирования горно-геологических условий шахты “Шахтерская-Глубокая”	62
3.4. Методика формирования моделей.....	66
3.5. Проведение экспериментов и анализ полученных результатов.....	69
ГЛАВА 4. Аналитические исследования напряженно-деформированного состояния приконтурного породного массива подготовительной выработки на больших глубинах.....	77
4.1. Гипотезы формирования горного давления вблизи подготовительных выработок.....	77
4.2. Анализ численных методов исследования напряженно-деформируемого состояния породного массива.....	79
4.3. Определение шага обрушения основной кровли в лаве.....	82
4.4. Разработка алгоритма аналитических исследований и обоснование расчетной схемы.....	89
4.5. Исследование напряженно-деформированного состояния приконтурного массива подготовительных выработок в зоне и вне зоны влияния очистных работ и определение наиболее рациональных мероприятий по их охране и поддержанию.....	95
ГЛАВА 5. Шахтные исследования проявления горного давления в подготовительных выработках при новом способе охраны и поддержания в условиях больших глубин.....	114
5.1. Горно-геологические условия экспериментального участка.....	114
5.2. Технология проведения подготовительных выработок при реализации	

нового способа охраны и поддержания.....	115
5.3. Визуальные и инструментальные наблюдения за контрольным и экспериментальными участками.....	118
5.4. Расчет экономической эффективности нового способа охраны и поддержания подготовительных выработок.....	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	124
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	126

ВВЕДЕНИЕ

Ритмичность, эффективность и безопасность работы в угольной шахте во многом определяется состоянием капитальных и подготовительных выработок.

Интенсификация очистных работ, увеличение площади сечения выработок, постоянный рост глубины разработки привели к существенному ухудшению условий строительства и эксплуатации горных выработок.

Для шахт Донецкого региона с каждым годом приобретает все большую актуальность проблема обеспечения устойчивости подготовительных выработок в связи с быстрым углублением горных работ и ухудшением горно-геологических условий. Средняя по бассейну трудоемкость поддержания выработок на 1000 т добываемого угля достигает 72-75 чел.-смен, при этом около 15-17 % протяженности выработок имеют неудовлетворительные размеры поперечных сечений. На ряде глубоких шахт приходится ежегодно ремонтировать до 30-40 % общей протяженности выработок [1]. Значительная часть этих работ (90-95 %) приходится на ремонт выработок, подверженных влиянию очистных работ. Работы по поддержанию выработок выполняются вручную, их весьма трудно механизировать, и они представляют опасность для горнорабочих.

Устойчивость подготовительных выработок зависит, в основном, от способов их проведения, охраны и расположения относительно границ очистных работ, а также от типа, конструкции и работоспособности установленных в них крепей.

Поэтому вопросы выбора рациональных средств и способов крепления и поддержания подготовительных выработок в сложных условиях эксплуатации становятся все более актуальными, так как от их правильного решения зависят и безопасность работ, и своевременная подготовка очистного фронта, и технико-экономические показатели работы шахт.

Характерной в этом отношении является шахта “Шахтерская-Глубокая” ГП “Шахтерскантрацит”, для которой в связи с увеличением глубины разработки очень серьезной становится проблема поддержания подготовительных вы-

работок. Способы охраны, существующие на сегодняшний день, малоэффективны. Поэтому разработка новых способов охраны и поддержания выработок в изменяющихся горно-геологических условиях, обоснование параметров этих способов на основе изучения закономерностей взаимодействия системы “крепь-охранная конструкция-породный массив”, является актуальной задачей, имеющей важное научное и практическое значение, решению которой и посвящена монография.

ГЛАВА 1

СОСТОЯНИЕ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ГЛУБИН РАЗРАБОТКИ

1.1. Общие сведения об угольной промышленности и состоянии протяженных выработок на шахтах Украины

Топливо-энергетический комплекс играет главную роль в экономике любой промышленно развитой страны, к которым относится и Украина. Традиционными источниками энергии в настоящее время являются минеральные энергоносители – нефть, природный газ, уголь. Всемирное потребление первичных энергоресурсов – угля, нефти и газа – представлено в табл. 1.1 [2-5].

Таблица 1.1

Год	1970	1980	1990	2000	2010
Всего, млн. т у.т.	7038	8910	11085	12417	17300
Уголь, млн. т у.т.	2418	2624	3207	3670	3858
Нефть, млн. т у.т.	2936	3835	4074	4232	6107
Газ, млн. т у.т.	1368	1836	2659	3290	3996

Будущее развитие угольной промышленности мира связано с расширением использования угля в теплоэнергетике, так как его цена примерно в 2,5 раза ниже цены эквивалентного по теплосодержанию количества нефти и в 1,3 раза-газа. Преимущество угля в мировом масштабе перед другими видами энергетического сырья – возможность транспортировки любым видом транспорта без особого ущерба для окружающей среды, достаточно большие запасы, возможность применения чистых технологий при его сжигании.

Уголь – единственный энергоноситель, объемы которого потенциально достаточны для полного обеспечения потребностей национальной экономики. Поэтому угольная промышленность Украины является гарантом энергетической независимости государства.

Анализ тенденций развития энергетики свидетельствует, что в структуре мировых запасов органического топлива на уголь приходится 67, на нефть – 18 и на природный газ – 15 %. В Украине эти показатели составляют соответственно 95,4; 2 и 2,6 %. Общий объем запасов угля в Украине 117,5 млрд. т, из них промышленных на действующих шахтах – 6,5 млрд. т, из которых 3,5 млрд. т – энергетический уголь [6]. Эти запасы позволяют стабильно добывать по 100 млн. т угля в течение 500 лет.

Ориентация страны на развитие энергетической базы определяется ее ресурсным потенциалом. В Украине, в частности, основным энергоносителем является уголь.

Угольная промышленность Украины является одной из базовых отраслей народного хозяйства, которая поставляет свою продукцию для нужд электроэнергетики (почти 38 % от общего объема поставок), коксохимического производства (22 %), населения (11 %), коммунально-бытовых потребителей (3 %) и других потребителей (26 %). Для Украины добыча угля имеет приоритетное значение – его доля в общем топливно-энергетическом балансе страны составляет около 25 % (в пересчете на условное топливо). Объемы добычи и проведения выработок в угольной промышленности Украины за последние десять лет приведены на рис. 1.1 и 1.2.

Для достижения стратегической цели долгосрочная государственная политика развития угольной промышленности предусматривает три этапа, которые разделяются на ближнюю, среднесрочную и дальнюю перспективы [6-8].

На первом этапе ключевым аспектом должно было быть комплексное решение проблемы развития шахтного фонда, что предусматривало его воспроизводство на современной технико-технологической основе и дальнейшее разгосударствление. Объем добычи угля по базовому сценарию прогнозировалось

увеличить до 90,9 млн. т, а производственные мощности – до 105,8 млн. т в год. Из-за недостаточного финансирования угольной промышленности на первом этапе он выполнен в неполном объеме.

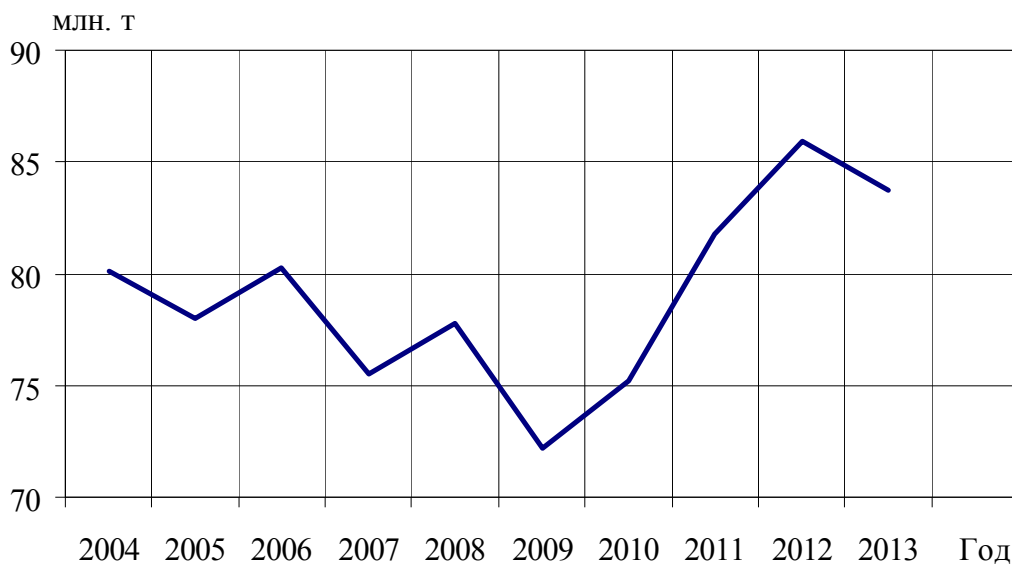


Рис. 1.1. Объемы добычи угля на шахтах Украины за 2004...2013 гг.

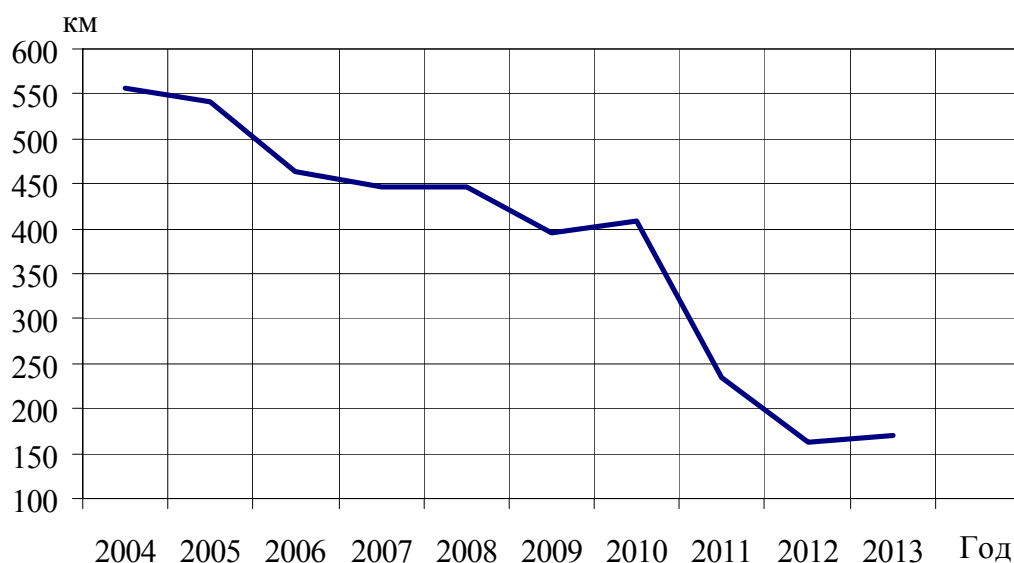


Рис. 1.2. Объемы проведения горных выработок на шахтах Украины за 2004...2013 гг.

На втором этапе прогнозируется достичь объема угледобычи на уровне 110,3 млн. т при наличии производственных мощностей 122,5 млн. т в год. Это

позволит удовлетворить спрос отечественных потребителей на энергетический уголь и повысить уровень обеспечения коксующимся углем до 82,6 %.

Третий этап рассматривается как долгосрочная перспектива. С учетом положительной динамики объем добычи угля планируется увеличить до 130 млн. т. Учитывая возрастание потребления угля тепловой электроэнергетикой в 2030 г. по сравнению с 2015 г. на 39 %, потребность национальной экономики в энергетическом угле будет обеспечена на 97,1 %, а в коксующемся – на 72,6 %.

Производственные мощности на конец рассматриваемого периода должны вырасти до 144,4 млн. т в год с коэффициентом использования 90 %. Это потребует реконструкции действующих предприятий с приростом мощностей, а также строительства новых шахт на разведанных участках месторождений с благоприятными горно-геологическими условиями.

Эффективность работы угольных шахт зависит от многих причин, в числе которых одной из наиболее существенных является состояние основных вскрывающих и подготовительных горных выработок. Являясь транспортными магистралями, они обеспечивают доступ к запасам угля, непрерывность и надежность работы подземного комплекса шахты.

Проблема обеспечения устойчивости горных выработок приобретает особенно большое значение с увеличением глубины разработки, так как при этом повышается величина горного давления, что обуславливает значительные деформации крепи горных выработок. Средняя глубина разработки угольных месторождений в Украине приближается к 800 м, 60,8 % шахт работают на глубине более 600 м и 15 % – более 1000 м [9]. Понижение разработки за последние 30 лет в среднем по Украине составило 505 м, или 16,8 м в год.

Для обеспечения эксплуатационного состояния горных выработок приходится вести ремонтные работы, заключающиеся в полном перекреплении отдельных участков или всей выработки, применении временной усиливающей крепи, замене деформированных элементов крепи, подрывке вспученных пород почвы, увеличении плотности установки рам, замене межрамных ограждений и

др. Трудоемкость ремонтных работ по-прежнему остается высокой, достигая около 90 чел-смен на 1000 т среднесуточной добычи угля.

Протяженность перекрепляемых выработок составляет 46,6 % по отношению к пройденным, а отремонтированных в 1,7 раза превышает протяженность пройденных выработок [10].

Несмотря на большой объем ремонтных работ и их высокую трудоемкость, протяженность выработок с неудовлетворительным состоянием остается значительной – 15...17 % от общей протяженности поддерживаемых выработок [11], и в целом по угольным шахтам Украины на 2013 г. составила 16,1 %.

За последние десять лет годовые объемы проведения вскрывающих и подготовительных выработок снизились с 462,7 до 171 км. Объемы поддерживаемых подготовительных выработок также снижаются, что связано, в первую очередь, с реструктуризацией угледобывающей промышленности. Однако количество ремонтируемых выработок из того объема увеличивается, что объясняется усложнением горно-геологических условий поддержания, связанного с уходом большинства шахт на глубину.

При переходе на большие глубины смещения контуров выработок увеличились, примерно, в 3 раза [12]. Применение податливых крепей с большим запасом на осадку (до 85 % всех выработок [13]) не дало положительного результата, так как крепь из СВП, обладающая низкой несущей способностью в податливом режиме, не способна противодействовать повышенному горному давлению. В итоге состояние горных выработок остается неудовлетворительным. Более 40 % их ремонтируется до сдачи в эксплуатацию, 52 % действующих выработок деформировано.

Анализ состояния подготовительных выработок угольных шахт Украины, а также затрат, связанных с их поддержанием и ремонтом, показывает, что большую трудность при поддержании подготовительных выработок в эксплуатационном состоянии представляют большие смещения контура. На угольных шахтах Украины ежегодно подвержены ремонту более 5000 км выработок.

Таким образом, проблема поддержания подготовительных выработок в устойчивом состоянии во время всего периода их эксплуатации не только остается актуальной, но и приобретает возрастающий характер и требует создания, промышленного освоения и внедрения эффективных способов охраны и поддержания и разработки новых конструкций крепи подготовительных выработок. Особую актуальность эти задачи приобретают при переходе добычи полезных ископаемых на большие глубины.

1.2. Состояние подготовительных выработок в условиях шахт ГП «Шахтерскантрацит»

Государственное предприятие «Шахтерскантрацит» расположено в центральном горнопромышленном районе Донбасса на территории Шахтерского административного района. За последние годы в составе ГП находилось 5-6 шахт. В настоящее время ГП «Шахтерскантрацит» – это 6 шахт.

Промышленные запасы шахт ГП «Шахтерскантрацит» в пластах мощностью больше 0,8 м составляют 216,887 млн. т. В отработке находятся 4 шахтопласта.

Угольные пласты района относятся к марке *A* и частично на западе к марке *T*. Углы падения пластов изменяются от 3° до 15° , а глубина очистных работ от 250 м до 1390 м. Средняя глубина разработки по шахтам ГП «Шахтерскантрацит» составляет 720 м. Общая протяженность действующих на шахтах ГП горных выработок составляет около 231 км.

Динамика показателей работы ГП «Шахтерскантрацит» за 2005-2012 гг. приведена в табл. 1.2 [14].

Характерным примером добычи угля на больших глубинах является шахта «Шахтерская-Глубокая», которая в промышленном отношении подчинена ГП «Шахтерскантрацит». Это одна из молодых и перспективных шахт ГП, добыча, которой составляет около 60 % от общей добычи ГП «Шахтерскантрацит», а проведение выработок – 55 %.

Таблица 1.2

Показатели работы ГП «Шахтерскантрацит» за 2005-2012 гг.

Год	Количество шахт	Объемы добычи, тыс. т	Проведено выработок, м	Общая длина выработок, м	Длина выработок не соответствующих ПБ		Отремонтировано выработок, м
					м	%	
2005	5	550,02	6860	338651	41256	12,2	5274
2006	5	1971,96	19541	510428	70317	13,8	14177
2007	5	1756,81	17841	455495	58444	12,8	10587
2008	6	762,77	5884	281650	82354	29,2	2923
2009	6	660,44	5562	274626	27338	9,9	2905
2010	6	870,59	6784	260466	30184	11,6	2837
2011	6	831,1	6253	230948	32451	14,1	2474
2012	6	827,2	6113	231117	32728	14,2	2412

Из рис. 1.3 и 1.4 видно, что за последние годы шахта работала стабильно, а в 2010-2012 гг. наметился рост добычи угля и объемов проведения выработок. На сегодняшний день добыча угля в 2 раза меньше от проектной. Однако остается проблема сохранения подготовительных выработок для повторного их использования (не соответствуют паспорту крепления 20,8 %), при этом объемы ремонтных работ и количество рабочих, их выполняющих, возрастает (рис. 1.5 и 1.6).

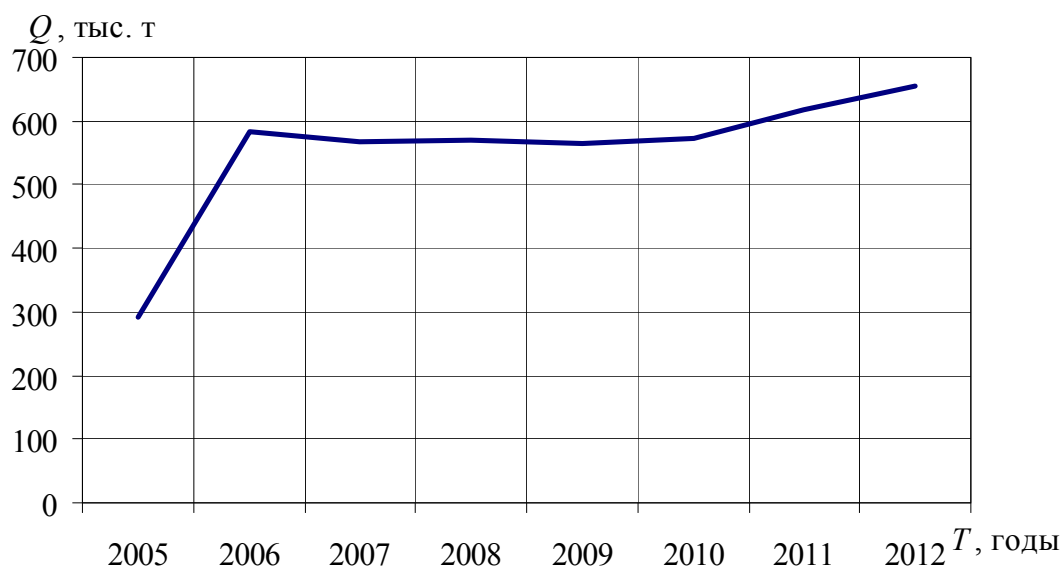


Рис. 1.3. Объемы добычи угля на шахте «Шахтерская-Глубокая»

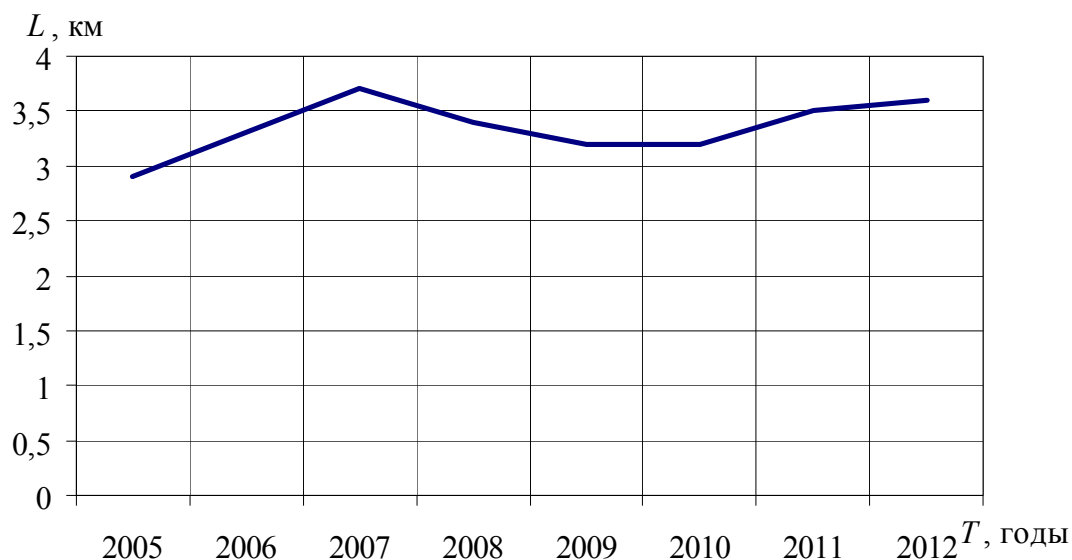


Рис. 1.4. Объемы проведения горных выработок на шахте “Шахтерская-Глубокая”

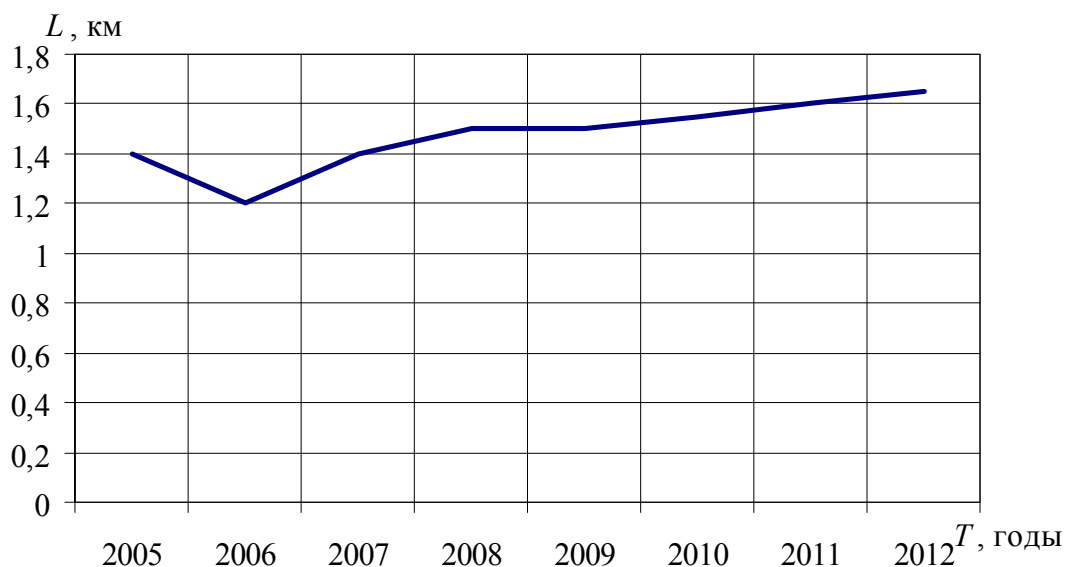


Рис. 1.5. Объемы ремонтных работ в горных выработках на шахте “Шахтерская-Глубокая”

Для горно-геологических условий шахты “Шахтерская-Глубокая” характерны значительные смещения глинистых пород кровли и незначительное пучение песчаных пород почвы. Причем, в наибольшей степени смещения проявляется в подготовительных выработках в зоне влияния очистных работ.

Анализ показывает, что основная причина ремонтных работ (отремонтировано в 2012 г 1706 п.м (10,2 % от необходимого) кроется в несоответствии несущей способности крепи действующей нагрузке и недостаточно эффектив-

ных способах охраны и поддержания (81,8 %, 1395 п.м) и наличии пучения пород почвы выработок (18,2 %, 311 п.м). Основная часть ремонтных работ (73,6 %) приходится на выработки, испытывающие влияние очистных работ.

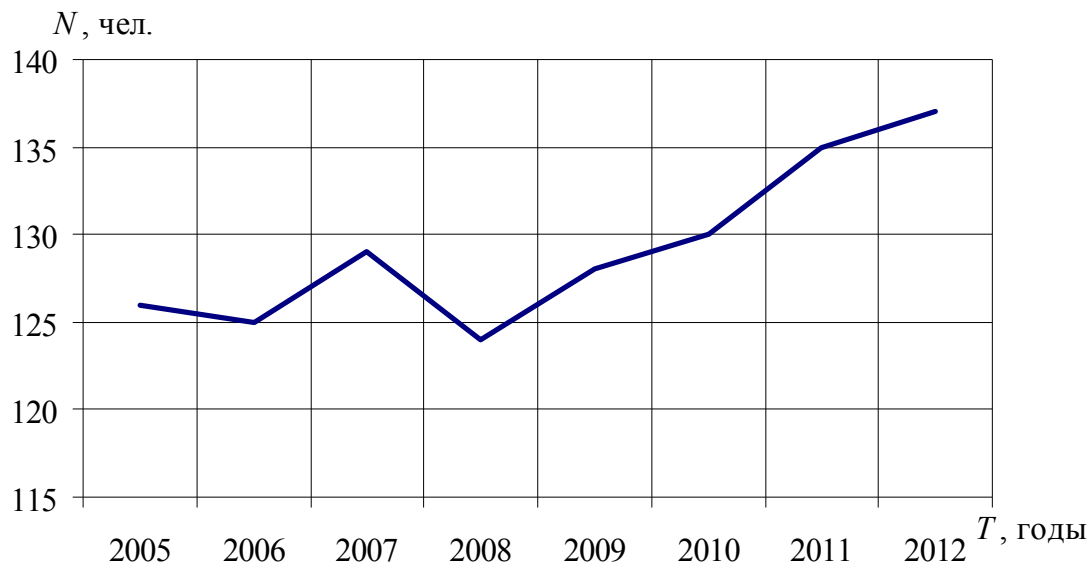


Рис. 1.6. Количество рабочих, выполняющих ремонт и поддержание горных выработок на шахте “Шахтерская-Глубокая”

Общая картина состояния капитальных и подготовительных выработок шахты “Шахтерская-Глубокая” на конец 2013 г. приведена в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Состояние подготовительных выработок на шахте “Шахтерская-Глубокая”

Наименование выработок	Протяженность, м	Проведено, м	Отремонтировано, м	Не удовлетворяют ПБ, м		
				всего	по вы-соте	по про-филю пути
Всего вскрывающих и подготавливающих	77256	2891	1706	16734	13722	3012
- квершлагги	11166	55	64	1586	1234	352
- уклоны	6188	506	245	924	714	210
- бремсберги	10209	–	43	1463	1073	390
- штреки	22422	1665	1282	7865	6957	908
- другие выработки	27271	665	72	4896	3744	1152

Следует отметить, что проявление горного давления в подготовительных выработках в зоне влияния лавы существенно отличается от аналогичного в капитальных выработках. Этот процесс имеет большую интенсивность и протекает длительное время. Это приводит к развитию значительных деформаций приконтурного массива и разрушению крепи.

Поиск эффективных способов охраны и поддержания выработок в зоне влияния очистных работ является важной научно-практической задачей. Поскольку традиционные способы и средства не обеспечивают эксплуатационное состояние выработок, это отрицательно сказывается на производительности очистных забоев и безопасности труда на шахте.

В связи с переходом подземных горных работ на глубокие горизонты значительно ухудшаются горно-геологические условия разработки пластов в основных угольных бассейнах страны.

На глубоких шахтах значительно увеличиваются расходы на ремонт и укрепление подготовительных выработок, усложняются мероприятия по борьбе с внезапными выбросами угля и газа, горными ударами и по снижению высокой температуры. Наибольшее влияние на проявления горного давления в подготовительных выработках оказывают увеличение глубины разработки и усложнение горно-геологических условий, что выражается, прежде всего, в возрастании смещений пород вокруг выработок. В некоторых выработках смещения пород кровли на контуре за весь срок службы достигают 1-1,5 м [15]. Рост величины смещений пород приводит к уменьшению площади поперечного сечения выработок и необходимости проведения работ по их ремонту и восстановлению.

Несмотря на определенные достижения в области управления горным давлением в подготовительных выработках, их состояние продолжает оставаться неудовлетворительным, особенно на участках, примыкающих, к очистным забоям.

Как показывает анализ средств и способов повышения устойчивости подготовительных выработок, наибольший эффект в сложившихся условиях дают мероприятия и крепи, направленные на сохранение целостности окружающего выработку массива и использование его несущей способности.

На ближайшую перспективу возможны два взаимодополняющих направления решения задачи повышения устойчивости подготовительных выработок: с одной стороны – совершенствование конструкции металлической крепи на основе широкого привлечения технических решений по повышению ее надежности и использованию несущей способности приконтурного массива; с другой – расширение объемов применения новых конструкций крепи и способов охраны и поддержания с разгрузкой и упрочнением массива.

Целью работы является разработка и обоснование параметров способа охраны и поддержания подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ в условиях глубоких угольных шахт ГП «Шахтерскантрацит».

Для достижения этой цели в работе поставлены следующие задачи:

- выбор объекта исследований;
- визуальные обследования и шахтные измерения проявления горного давления в подготовительных выработках шахты “Шахтерская-Глубокая”;
- изучение закономерностей деформирования неоднородного породного массива вокруг подготовительных выработок и в кровле лавы; разработка нового способа охраны подготовительных выработок в условиях больших глубин;
- выявление закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния приконтурного массива подготовительной выработки при использовании нового способа охраны и поддержания;
- определение рациональных параметров нового способа охраны и поддержания подготовительной выработки в конкретных горно-геологических условиях.

Решение поставленных выше задач выполняется с использованием комплексного подхода, включающего анализ и обобщение литературных данных по данной теме, шахтные визуальные и инструментальные наблюдения, математическое моделирование с применением численного метода (метод конечных элементов), физическое моделирование на моделях из эквивалентных материалов, проведение промышленных испытаний.

ГЛАВА 2

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ “ШАХТЕРСКАЯ-ГЛУБОКАЯ”

2.1. Общая характеристика шахты “Шахтерская-Глубокая”

В промышленном отношении шахта «Шахтерская-Глубокая» подчинена ГП «Шахтерскантрацит».

В эксплуатацию шахта была сдана в 1986 году с производственной мощностью 1500 тыс. тонн в год.

Шахта состоит из трех блоков: восточный, центральный и западный. Восточный и центральный блоки сбиты между собой горными работами и имеют единую систему проветривания. По западному блоку работы не ведутся.

Шахта по выделению газа является сверхкатегорной, не опасной по взрывам угольной пыли, выбросам угля и газа.

Способ проветривания – всасывающий, схема проветривания – секционная. Проветривание горных выработок шахты осуществляется тремя вентиляторами главного проветривания.

2.1.1. Вскрытие шахтного поля.

На шахте принята блочная схема вскрытия с делением шахтного поля на три блока и отработкой бремсберговой и уклонной части на один откаточный горизонт – «-1105 м» (1294 м от поверхности). Главные откаточные штреки размещаются в почве пласта h_8 и служат весь срок службы шахты. В настоящее время работы ведутся в центральном и восточном блоках шахты, западный блок не подготовлен и в ближайшее время подготовки запасов не требует.

Поле шахты «Шахтерская-Глубокая» вскрыто 5 вертикальными стволами:

– Главный ствол ЦБ – предназначен для выдачи угля и породы из шахты, выдачи исходящей струи из выработок околоствольного двора ЦБ. Ствол оборудован подъемными машинами МК 5x4 (2шт) и машиной ЦШ-4x4. Глубина ствола – 1294 м.

– Вспомогательный ствол ЦБ – используется для спуска-подъема людей, спуска и выдачи вагонов с материалами и оборудованием, а также для подачи свежего воздуха для проветривания выработок центрального блока. Ствол оснащен подъемной установкой типа МК4x4, глубина ствола – 1341 м.

– Вентиляционный ствол шахты № 2-2 бис – выдача исходящей струи воздуха из горных выработок центрального блока шахты, спуск-подъем людей, как в нормальном режиме, так и в аварийном (запасной выход из шахты). Ствол оборудован подъемной машиной МПБ 6,3x2,8, глубина ствола – 797 м.

– Вентиляционный ствол восточного блока – выдача исходящей струи из выработок восточного блока, спуск-подъем людей и материалов. Ствол оснащен подъемными машинами МПБ 6,3x2,8, глубина ствола – 948 м.

– Воздухподающий ствол восточного блока – используется для подачи свежего воздуха в выработки восточного блока шахты, оборудован подъемной машиной 2Ц6x2,4. Глубина ствола – 1298 м.

Главный и вспомогательный стволы по простиранию располагаются в центре поля. Вкрест простирания стволы смещены ближе к пласту h_8 . Для охраны стволов и основных зданий промплощадки по разрабатываемым пластам предусмотрены целики угля.

Вскрытие пластов h_7 , h_3 , h_2^I в дальнейший период эксплуатации предусматривается квершлагами с основного горизонта.

2.1.2. Подготовка шахтного поля.

Утвержденным техническим проектом шахты принят панельный способ подготовки шахтного поля с размещением в блоке одной панели с одновременной отработкой восточного и центрального блоков. Блоки между собой соединяются спаренными полевыми откаточными штреками. Крепление штреков

выполнено 3-звенной арочной металлической крепью с шагом установки крепи 0,5 м.

Подготовка панелей осуществлена панельными бремсбергами (вспомогательный, конвейерный и людской), пройденными в песчаниках и песчаных сланцах, залегающих в почве пласта h_8 на расстоянии 15 м в центральном блоке и 30 м в восточном блоке.

После отработки запасов в центральном и восточном блоках шахты по пласту h_8 очистные работы будут вестись в подготовленных забоях уклонного поля этих блоков.

2.1.3. Охрана горных выработок на шахте включает:

- размещение сопряжений центральных стволов и протяженных выработок околоствольного двора в прочных породах;
- жесткое металлобетонное крепление (усиленное в камерах арматурной сеткой) выработок околоствольного двора и квершлаггов, пройденных вкрест простирания пород;
- тампонаж вмещающих пород;
- охрану главных откаточных штреков целиками угля;
- крепление бремсбергов осуществляется 5-звенной арочной металлической крепью с шагом установки крепи – 0,5 м;
- предварительную подработку камер подъемных машин.

2.1.4. Система разработки.

В бремсберговых полях предусмотрено деление каждого блока по падению на 2 одновременно отрабатываемые части.

Отработка ярусов по шахте ведется в нисходящем шахматном порядке, что обеспечивает своевременную подготовку очистных забоев.

Отработка ярусов в каждой части бремсбергового поля производится длинными столбами по простиранию с погашением штреков вслед за продвижением лав. Подготовка столбов производится одиночными вентиляционными и

конвейерными ярусными штреками. Шаг установки крепи по вентиляционным штрекам составляет – 0,8 м, по конвейерным – 0,5 м.

2.1.5. Проведение подготовительных выработок.

Проведение подготовительных выработок на шахте осуществляется как комбайновым, так и буровзрывным способом.

При проведении горных выработок на шахте используются проходческие комбайны КСП-32 и КСП-22 и породопогрузочные машины типа 2ПНБ-2Б (при проведении выработок буровзрывным способом). Выработки проводятся узким забоем с верхней и нижней подрывкой пород почвы пласта. Крепление выработок осуществляется трехзвенной арочной податливой крепью типа КМП-А3. Элементы арки изготовлены из стального желобчатого профиля СВП-27. Величина податливости крепи 700 мм, несущая способность 200-220 кН. Крепление конвейерных выработок осуществляется крепью КМП-А3/13,8, с шагом установки 0,5 м, а вентиляционных – КМП-А3/11,2, с шагом установки 0,8 м. Работы по проведению выработок осуществляются комплексными проходческими бригадами.

2.1.6. Очистные работы.

На шахте «Шахтерская-Глубокая» добыча угля производится в комплексно-механизированных лавах, оборудованных комплексами МКДД с комбайном РКУ-10 и 1КД-90 с очистным комбайном 1К-101У. Планируется введение в эксплуатацию новой лавы, оборудованной комплексом 3КД-90 и очистным комбайном 2ГШ-68Б. Система разработки – столбовая, длинными столбами по простиранию пласта.

2.1.7. Характеристика качества угля и его использование.

Пласт h_8 – макроскопический уголь пласта блестящий, однородный, крепкий, плотный. Микроскопический уголь клареновый, основным микрокомпонентом является витринит, представленный крупными фрагментами и основ-

ной массой. По степени восстановленности уголь относится к маловосстановленному типу.

Зольность чистых угольных пачек колеблется от 4,2 % до 28,8 % при среднем значении 11,3 %. Среднепластовая зольность на участке находится в пределах 4,2-41,5 % при среднем значении 17,3 %. Повышенные значения зольности наблюдаются на юге центральной части участка и на северо-востоке. Угли малосернистые, содержание серы составляет 0,4-3,1 % при среднем значении 1,1 %. Сера пиритная. Угли являются легкообогатимыми, относятся к марке А и могут использоваться как энергетическое топливо.

2.2. Горно-геологические и горнотехнические условия разработки на шахте “Шахтерская-Глубокая”

После шахты «Шахтерская-Глубокая» расположено в западной части южного крыла Чистяковской синклинали. Недра синклинали сложены осадочными породами каменноугольного возраста, относящиеся к свитам C^5_2 , C^4_2 , C^3_2 , C^2_2 среднего карбона.

Отложения карбона представлены следующими литологическими разновидностями: песчаниками разной зернистости, глинистыми, песчаными и песчано-глинистыми сланцами, отличающимися друг от друга по степени зернистости. Среди них прослеживаются маломощные, но выдержанные прослои известняков, служащие маркирующими горизонтами. Ограниченное расположение имеют углистые сланцы, обычно сопровождающие угольные пласты и залегающие в виде маломощных прослоев в их кровле или почве. Каменные угли в виде маломощных прослоев (от нескольких сантиметров до 1,4 м) залегают, как правило, в сланцах песчаных либо глинистых; в отдельных случаях в кровле пласта залегают песчаник. В почве угольных пластов почти повсюду залегает характерный стигмариевый горизонт «кучерявчик».

2.2.1. Стратиграфический разрез описываемого участка.

Четвертичные отложения представлены в верхней части почвенно-растительным слоем, в нижней – лессовидными суглинками. Мощность четвертичных отложений зависит от рельефа подстилающих каменно-угольных пород и изменяются от 0,3 м до 21,0 м, преобладающая мощность четвертичных отложений – 5,0 м.

Отложения карбона: свита C^5_2 – каменская. Среди преимущественно песчано-сланцевых отложений свиты значительное распространение имеют известняки. В свите содержится 36 угольных пластов, из которых выдержанными являются k_5 и k_3 , относительно выдержанными k^I_{II} и k_2 .

Для пород свиты, характерен следующий литологический состав: сланцы песчаные и глинистые – 53 %, песчаники – 43 %, известняки – 2,4 %, угли – 1,6 %.

Общая мощность отложений свиты – 660 м.

Свита C^4_2 – безугольная. Общая мощность свиты 390 м. Промышленного значения отложения свиты не имеют.

Литологический состав свиты: сланцы песчаные и глинистые – 64 %, песчаники – 32 %, известняки – 2,5 %, угли – 1,5 %.

Свита C^3_2 – смоляниновская. Характеризуется высокой угленосностью и имеет, в основном, песчано-сланцевый состав. В крайне ограниченном количестве среди пород свиты присутствуют известняки. В свите содержатся 21 угольный пласт, из которых 8 ($h_8, h_7, h_6^I, h_6, h_4^I, h_3^I, h_3, h_2^I$) имеют рабочую мощность на всей площади участка или части её. Из них наиболее выдержанными угольными пластами является h_8 и h_2^I , которые отрабатываются рядом шахт ГП «Шахтёрскантрацит».

Литологический состав свиты следующий: сланцы песчаные и глинистые – 62,4 %, песчаники – 35,3 %, известняки – 0,8 %, угли – 1,5 %.

Свита C^2_2 – моспинская. Мощность вскрытой части свиты составляет 270 м.

Литологический состав следующий: сланцы песчаные и глинистые – 75,9 %, песчаники – 23,0 %, известняки – 0,4 %, угли – 0,7 %.

Вскрытая часть свиты содержит 8 угольных прослоев. Площадь участка расположена в пределах западной части южного крыла Чистяковской синклинали. Южное крыло пологое, северное – более крутое. Простираие пород на площади участка северно-западное, прямолинейное, с моноклинальными падениям на северо-восток под углом $17-19^{\circ}$, на востоке – до $30-35^{\circ}$, на западе с глубиной падение пород выволаживается до $12-16^{\circ}$.

Крупных дизъюнктивных нарушений в пределах шахтного поля не выявлено, но горными работами соседних действующих шахт отмечен целый ряд мелких флексур с амплитудой до нескольких метров. Наиболее крупной из них является Постниковская флексурская складка, развитая по пластам $h^1_2 - h_7$ в восточной части площади. Простираие оси складки северно-восточное, падение северное с углами от $26-5^{\circ}$, амплитуда смещения пород изменяется от 50-60 м на севере до 250 м в районе скв. 1980.

В месте развития флексуры породы сильно ослаблены, что препятствует ведению горных работ.

Следует отметить, что микротектоника ввиду малых амплитуд складок и разрывов не поддаётся определению при ведении разведочных работ и может быть установлена только подготовительными или очистными горными выработками. Поэтому, в ходе ведения горных работ возможна встреча ряда мелких нарушений, которые осложнят ведение очистных работ.

2.2.2. Характеристика пластов угля и боковых пород.

Продуктивная толща участка «Шахтерского-Глубокого» представлена отложениями нижней части свиты C^4_2 и свиты C^3_2 . Суммарная мощность угольных пластов и прослоев свиты C^4_2 составляет 3,2 м. Пласты свиты тонкие и весьма тонкие, сложного строения, обладают высокой зольностью и промышленного значения не имеют.

В составе свиты C_2^3 содержатся до 30 угольных пластов и прослоев. Пласты $h_8, h_7, h_6^1, h_4^B, h_3^1, h_2^1$, характеризуются рабочими мощностями на всей площади или на части её.

Пласты $h_9^1, h_6^2, h_5, h_4^H, h_3^2$ выявлены с рабочими мощностями только по одиночным скважинам.

Угольные пласты свиты залегают среди терригенных пород, представленных песчаными и глинистыми сланцами и песчаниками с подчиненными прослоями известняков. В почве большинства пластов фиксируется стигмариевый слой «кучерявчик», образовавшийся за счёт пород различных фракций.

Пласт h_8 (рис. 2.1) – залегает в 56 м ниже известняка H_6 является выдержанным по мощности и строению. Тонкий, местами средней мощности, преимущественно простого строения. В пределах рассматриваемого шахтного поля угольный пласт h_8 имеет 2-х пачечное строение. Мощность нижней пачки 0,60-1,37 м, мощность верхней пачки 0,15-0,75 м, разделяющий породный прослой представлен глинистым сланцем мощностью 0,15-1,1 м.

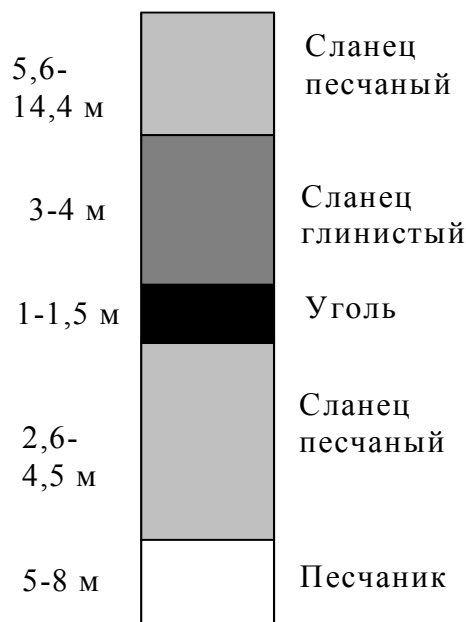


Рис. 2.1. Структурная колонка пласта h_8

Кровлей пласта повсеместно служит сланец глинистый и в более редких случаях, преимущественно в восточной части площади участка, сланец песчаный.

В почве чаще отмечен сланец песчаный и очень редко сланец глинистый.

Пласт имеет промышленное значение по всей площади шахтного поля. Разрабатывается шахтами «Кировская», «Фоминская» и «Постниковская» ГП «Шахтёрскантрацит».

2.3. Выбор объекта исследований, обследование выработок и проведение инструментальных наблюдений

2.3.1. Выбор объекта исследований.

Поддержание в рабочем состоянии выработок, эксплуатирующихся в зоне влияния очистных работ, является одним из важнейших факторов, определяющих стабильную работу добычных участков.

Производительность очистных комплексов, себестоимость добываемого угля и другие технико-экономические показатели работы шахты находятся в прямой зависимости от устойчивости соответствующего комплекса горизонтальных и наклонных выработок. Опыт работы горных предприятий показывает, что поддержание выработок в зоне влияния очистных работ – довольно сложная, трудоемкая и дорогостоящая задача. Сочетание большого количества влияющих факторов (угол наклона пласта, его мощность, крепость, слоистость, обводненность горных пород, температура окружающей среды, неравномерность загрузки крепи и т.п.) определяет те трудности, которые связаны с обеспечением устойчивости выработок.

Определяющими, влияющими на устойчивость, факторами являются геомеханические процессы, связанные с выемкой пласта и последующим обрушением залегающих в кровле пород. Учет этих факторов привел к разработке и внедрению различных крепей, отличающихся особенностями конструкции, принципом работы, характером взаимодействия с породным массивом и т.п. Используемые крепи в ряде случаев дают положительный эффект, однако,

нельзя считать вопрос обеспечения устойчивости выработок в зоне влияния очистных работ решенным до конца.

Анализ результатов выполненного обследования выработок, горно-геологических и горнотехнических условий на шахтах ГП «Шахтерскантрацит» позволил выбрать базовое предприятие – шахта «Шахтерская-Глубокая».

Как объект исследований принята зона отработки шахтного поля вокруг 1-ой западной лавы УП ЦБ пласта h_8 и 1-ой восточной лавы УП ЦБ пласта h_8 . Места установки замерных станций – 1-ый западный конвейерный штрек УП ЦБ пласта h_8 и 1-ый восточный конвейерный штрек УП ЦБ пласта h_8 . Сечение подготовительной выработки – 13,8 м². Прохождение выработки выполняется проходческим комбайном КСП-32. Для крепления принята металлическая крепь КМП-А3. Затяжка боков и кровли – сплошная. Расстояние между рамами – 0,8 м.

Экспериментальный участок №1 заложен в 1-ом западном конвейерном штреке УП ЦБ пласта h_8 . Общее количество станций, расположенных на рамах пикетов ПК70+4-ПК71+4 составило 10 штук.

Экспериментальный участок №2 заложен в 1-ом восточном конвейерном штреке УП ЦБ пласта h_8 . Общее количество станций, расположенных на рамах пикетов ПК32-ПК33 составило 10 штук.

Замерная станция, показанная на рис. 2.2 и 2.3 (схема разметки рамы крепи), представляет собой комплектную арку крепи, приспособленную определенным образом для измерения вертикальных и горизонтальных составляющих смещений контура крепи выработки, а также изменения кривизны арок крепи в насеченных на них характерных точках для установления динамики действующих изгибающих моментов.

2.3.2. Обследование выработок.

Исходным материалом для выполнения аналитических исследований, разработки конструктивных и технологических решений по повышению

устойчивости подготовительных выработок стали результаты шахтных исследований.

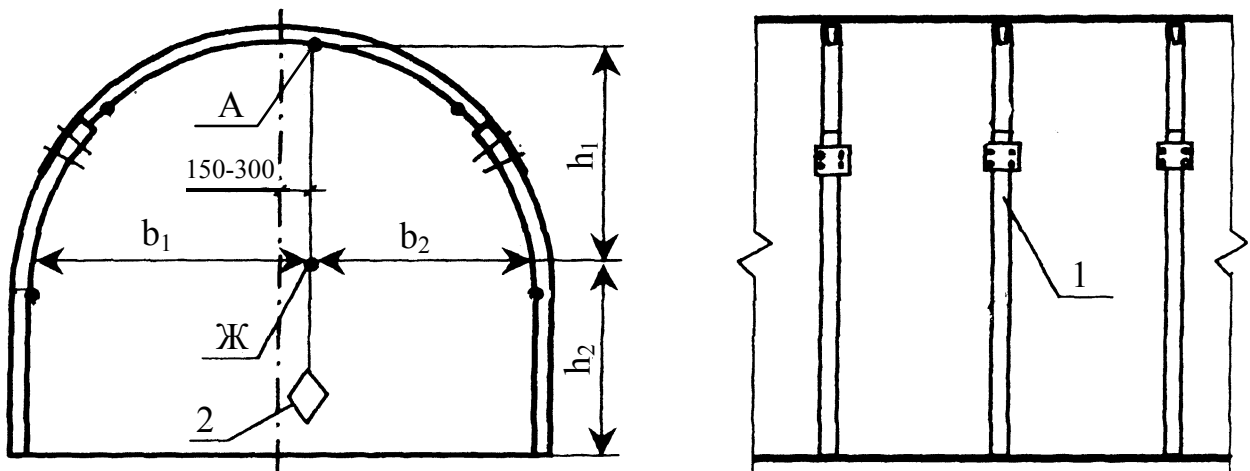


Рис. 2.2. Устройство замерной станции и схема измерений:

1 – арочная крепь (замерная станция); 2 – отвес.

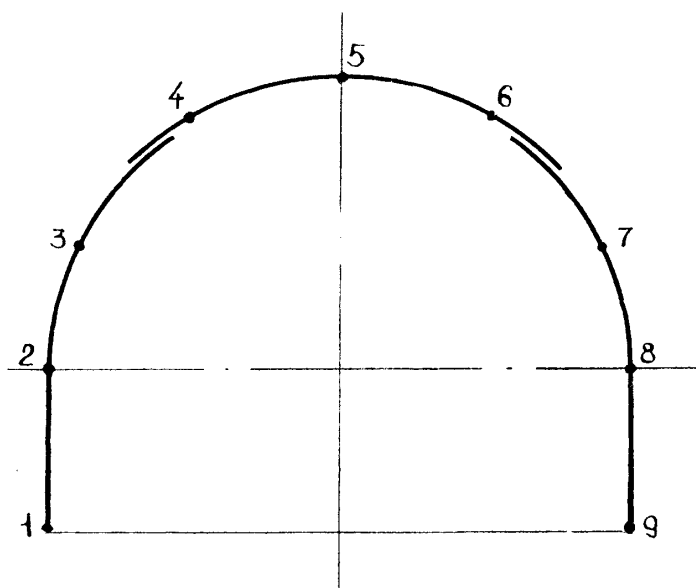


Рис. 2.3. Схема замерной станции по контролю кривизны рамы податливой крепи

С целью установления характерных видов проявлений горного давления в подготовительных выработках было проведено детальное визуальное обследование этих выработок общей протяженностью 1650 м. В ходе проведенного об-

следования установлено, что наиболее характерными видами проявлений горного давления в протяженных выработках являются деформации и повреждение крепи (разрыв хомутов при просадке арок крепи в замках), деформации тела арок (с их разрывом в зоне влияния лавы, повреждение и разрушение затяжки) и незначительное пучение пород почвы. Указанные виды проявлений горного давления становятся более интенсивными при влиянии очистных работ и в зоне геологических нарушений.

Исследование характера деформирования металлической арочной крепи в условиях воздействия очистных работ включало в себя всесторонний многоэтапный анализ результатов.

На первом этапе проводился анализ горно-геологических условий расположения выработок и данных по объемам ремонтных работ за последние годы.

На втором этапе проводилось визуальное обследование состояния выработок, в процессе которого определялись:

1. Абсолютные значения объемов деформаций и разрушений элементов крепей и участков выработок.
2. Наиболее характерные виды разрушений и деформаций элементов крепей.
3. Показатель устойчивости выработок по формуле:

$$\omega = \frac{L - L_p}{L} = \frac{N - N_p}{N},$$

где L и L_p – соответственно длина обследуемого участка и длина участка с разрушенной крепью;

N и N_p – соответственно общее количество арок крепи на участке и количество разрушенных арок.

Показатель устойчивости для подготовительных выработок вне зоны влияния очистного забоя составил $\omega = 0,57$, в зоне влияния – $\omega = 0,14$.

При проведении визуальных наблюдений крепежные рамы нумеровались мелом. Нумерация идет в возрастающем порядке от устья штрека к забою.

В период проведения наблюдений в рабочий журнал заносились сведения, касающиеся отступления от паспортов крепления, примерных размеров и качества забутовки закрепного пространства и др.

В дальнейшем в процессе наблюдений отмечались все изменения состояния рам крепи: деформации ее элементов, разрушения скрепляющих деталей и т.д. Наиболее характерные изменения эскизировались.

Анализируя данные о состоянии горных выработок и результаты выполненных визуальных обследований подготовительных выработок можно отметить, что значительная часть осмотренных выработок находится в неудовлетворительном состоянии, мешает ритмичной работе шахты, ухудшает проветривание и транспорт.

На следующем этапе проводились инструментальные измерения, в процессе которых определялись смещения кровли, почвы и боков выработки и изменения кривизны арок крепи.

2.3.3. Проведение инструментальных наблюдений.

Для установления характера проявления горного давления в подготовительных выработках шахты было выбрано два направления: инструментальные исследования в зоне влияния очистного забоя лавы и вне зоны влияния.

В качестве основного метода исследований приняты инструментальные наблюдения за смещениями пород и крепи на контуре сечения выработок. Точность оценки смещений крепи выработок определяется поставленными конкретными задачами и составляет 5 см (при визуальных наблюдениях) и 0,5 см (при измерении смещений измерительной рулеткой).

Методика шахтных наблюдений включает количественные критерии состояния крепи, обоснование плана контроля (выбор представительного участка и необходимого числа контрольных рам), а также анкету по обследованию выработки. Важными элементами методики было измерение вертикальных и гори-

зонтальных составляющих смещений контура крепи выработки и исследование изгибающих моментов в элементах рамной крепи при помощи кривизномера НГУ, устройство, которого приведено на рис. 2.4.

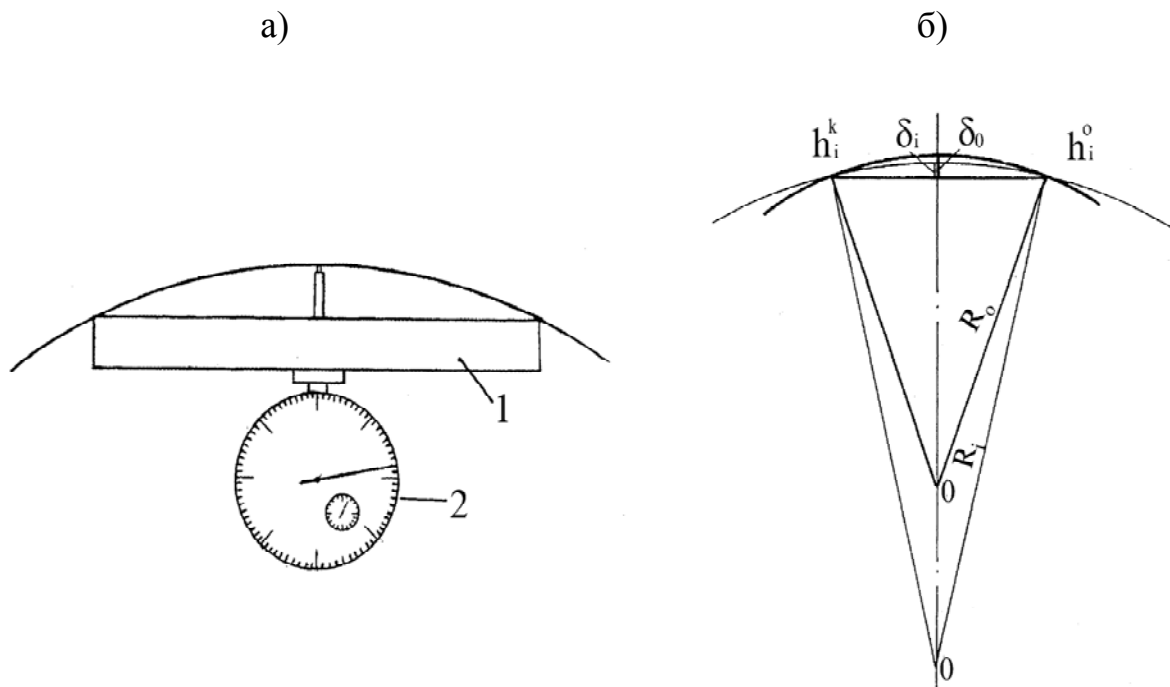


Рис. 2.4. Схема измерения нагрузки с помощью кривизномера:

- а) общий вид кривизномера: 1 – платформа; 2 – индикатор часового типа,
 б) схема к определению деформаций крепи.

Суть методики наблюдений за смещениями контура выработки такова, что первое измерение отличается от всех последующих. Частота измерений принималась равной 2-м измерениям в неделю. Направление обхода замерных станций всегда одно и тоже для каждого экспериментального участка. На первом измерении для каждой замерной станции фиксируется в пространстве точка **Ж**, показанная на рис. 2.2. Отталкиваясь от точки **Ж**, производились все последующие измерения. Такая методика позволяет объективно оценить и дифференцировать смещения свода, почвы, одного и другого боков выработки.

Первое измерение на каждой замерной станции осуществлялось в следующей последовательности:

- 1) Отвес закреплялся в точке **А** на верхняке арки (рис. 2.2).

2) На отвесе фиксировалась точка **Ж** на расстоянии $h_1 = 1,5$ м от верхняка (рис. 2.2).

3) Определялась абсолютная отметка точки **Ж**.

4) С помощью рулетки определялись расстояния h_2 , b_1 и b_2 (рис. 2.2).

Второе и последующие измерения на каждой замерной станции осуществлялись в следующей последовательности:

1) Отвес закреплялся в точке **А** на верхняке арки (рис. 2.2).

2) На отвесе фиксировалась точка **Ж** путем переноса ее абсолютной отметки для данной замерной станции, взятой на первом измерении (рис. 2.2).

3) С помощью рулетки определялись расстояния h_1 , h_2 , b_1 и b_2 (рис. 2.2).

Данные горно-геологических условий разработки и свойств вмещающих пород показывают, что исследуемые выработки находятся в достаточно сложных условиях эксплуатации. Большие глубины ведения работ, слабые вмещающие породы, наличие развитой сети мелких тектонических нарушений и тектонических зон отрицательно сказывается на состоянии выработок. К этому следует добавить влияние очистных работ, что существенно увеличивает сложность поддержания подготовительных выработок в эксплуатационном состоянии.

Нагрузка на две соседние рамы, как правило, неодинакова, причем величина нагрузки на длине одного шага рам может изменяться несколько раз. Такая неравномерность в распределении нагрузки на крепь вдоль выработки объясняется неплотностью забутовки, нарушенностью и неоднородностью окружающих пород, различием механических характеристик отдельных рам крепи, несовпадением моментов срабатывания замков податливости, неудачной конструкцией затяжки и другими факторами. В результате этого плоскость действия нагрузки отклоняется от центральной плоскости рамы, так что элементы крепи, наряду с обжатием продольной силой и изгибом в плоскости рамы, испытывают также скручивающие воздействия и изгиб из упомянутой плоскости.

Последние два силовых воздействия усиливаются в ряде случаев взаимными подвижками отдельных пачек окружающих пород. Дополнительные кру-

тящий и изгибающий моменты существенно усиливают напряженное состояние элементов крепи. Действительно, натурные наблюдения показывают, что в сложных условиях металлическая крепь теряет несущую способность в виде пространственной изгибно-крутильной деформации. В основе определения нагрузки на крепь выработок косвенными методами лежит измерение некоторых величин, которые связаны с искомой опосредованным (неявным) образом. Силовое воздействие породного массива (нагрузка) на металлическую крепь вызывает деформацию ее элементов с появлением изгибающих моментов. Деформация арки в произвольной точке в свою очередь связана с изменением кривизны в этой же точке. Таким образом, изменение кривизны в фиксированной точке деформированной металлической арки функционально связана с нагрузкой, распределенной по контуру арки.

Кривизна арки измеряется при помощи кривизномера, который представляет собой платформу 1 с базой 100 мм, на которой укреплен индикатор часового типа 2 с ценой деления 0,001 (рис. 2.4, а).

Измерения проводятся в следующей последовательности. В подлежащей обследованию выработке выбирался участок из нескольких рам в достаточной степени обжатых горным давлением, но не имеющих пластических деформаций. На внутренней поверхности арки фиксировались точки (рис. 2.3), расположенные на некотором расстоянии друг от друга. Перед началом измерений, на стадии возведения крепи, определялись начальные значения радиусов кривизны R_i^0 в каждой i -ой точке измерения. Затем в этих же точках с определенной периодичностью производились замеры кривизны радиуса в фиксированных точках R_i^K .

Для оборудования замерных станций в исследуемой выработке через каждые 10 м выбрали крепезную раму, в достаточной степени обжатых породой, но не имеющих пластических шарниров. По внутреннему периметру этих рам с помощью зубила наносили по 9 контрольных точек. Схема разметки рамы крепи замерной станции приведена на рис. 2.3.

В каждой из накерненных точек при помощи кривизномера производятся начальные замеры δ_0^i до попадания исследуемого сечения в зону влияния действующего очистного забоя. В дальнейшем замеры $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_i$ производятся с интервалом, примерно, два раза в неделю, по мере приближения лавы, ее прохода через пикет и удаления по всем замерным станциям.

При фиксировании с помощью прибора изменения величины δ осуществляется расчет радиуса кривизны элемента арки R_i в каждой i -той точке:

$$R_i = \frac{\delta_i}{2} + \frac{b^2}{2\delta_i}.$$

Учитывая, что $\frac{b^2}{2\delta_i} \ll \frac{\delta_i}{2}$ можно принять

$$R_i = \frac{b^2}{2\delta_i}.$$

Аналогично определяется значение

$$R_0 = \frac{b^2}{2\delta_0}.$$

Таким образом, зависимость для определения величины изгибающего момента примет вид:

$$\frac{M_\varphi}{EI} = \frac{2}{b^2}(\delta_0 - \delta_i), \quad (2.1)$$

где b – половина базы кривизномера ($b = 50$ мм); EI – жесткость профиля арки;

δ_0, δ_i – соответствующие показания индикатора в i -той точке первоначальные и последующие.

Результаты измерений использовались для расчета изгибающих моментов, возникающих в различных сечениях каждой отдельной крепежной рамы замерной станции в процессе ее работы, по формуле (2.1). Характерный вид эпюр изгибающих моментов арки вне зоны и в зоне влияния очистных работ приведен на рис. 2.5 и 2.6.

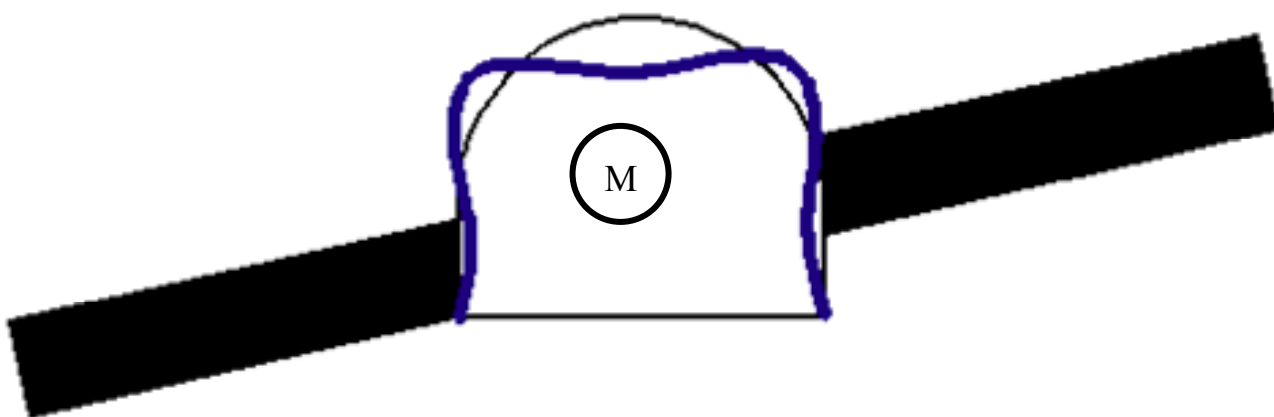


Рис. 2.5. Характер эпюр изгибающих моментов
вне зоны влияния очистных работ

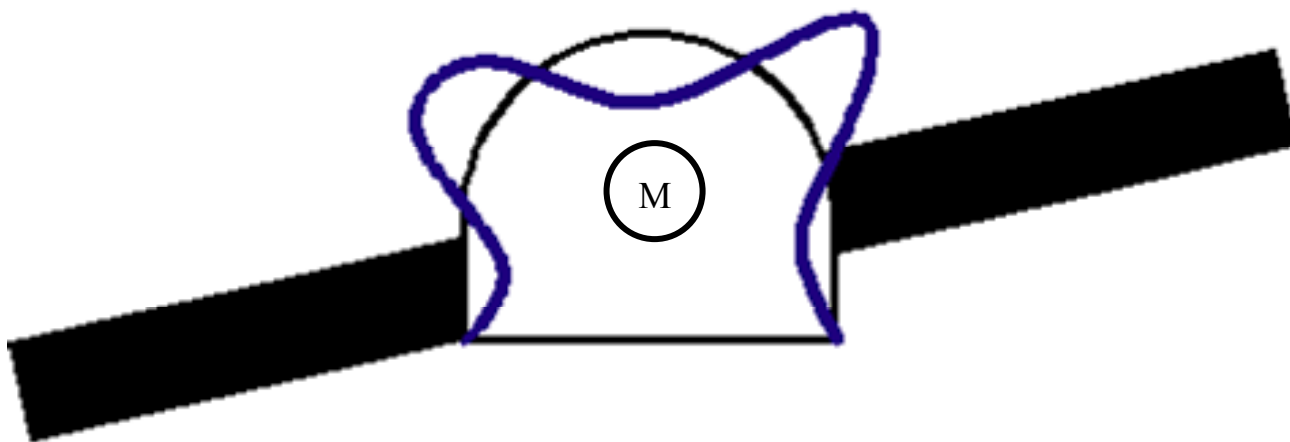


Рис. 2.6. Характер эпюр изгибающих моментов
в зоне влияния очистных работ (80 м до лавы)

Из рис. 2.5 и 2.6 видно, что максимальные величины изгибающих моментов находятся в определенных местах сечения выработки. При попадании выработки в зону влияния очистных работ они возрастают.

Таким образом, результаты полученных измерений будут использоваться для определения параметров усиления рамной крепи.

Кроме наблюдений за смещениями пород на контуре выработки, на замерных станциях предусмотрены измерения величин относительных смещений верхняков и стоек в узлах податливости. Когда концы верхняков врезаются в затяжку, величина смещений не может быть измерена. Поэтому относительное смещение стоек и верхняков рамы дублируется измерением расстояния между концом стойки и специально нанесенной меткой на верхняке.

Периодичность всех замеров устанавливается в зависимости от скорости подвигания забоев (подготовительных и очистных), интенсивности смещений пород и расстояния до замерных станций. В начальный период после возведения крепи при проведении выработок замеры производятся ежедневно. Через 12...14 дней и до стабилизации смещений – 2 раза в месяц. При приближении очистного забоя к замерной станции, начиная с 70 м, частота замеров увеличивается. При обнаружении опорного давления замеры производятся ежедневно. Результаты инструментальных наблюдений за смещениями контура выработок приведены на рис. 2.7 и 2.8.

Анализ результатов шахтных исследований показывает следующее:

- шахтные способы крепления и охраны выработок неэффективны;
- значительная часть выработок находится в неудовлетворительном состоянии, наиболее характерными видами проявлений горного давления в подготовительных выработках являются деформации и повреждения крепи и незначительное пучение пород почвы;
- в выработке вне зоны влияния лавы можно выделить три зоны поведения окружающего массива: первая – обжатие выработки и незначительные смещения контура (до 75 сут), вторая – интенсивные смещения контура (75-

120 сут), третья – затухание процессов смещения контура (после 120 сут) (рис. 2.7);

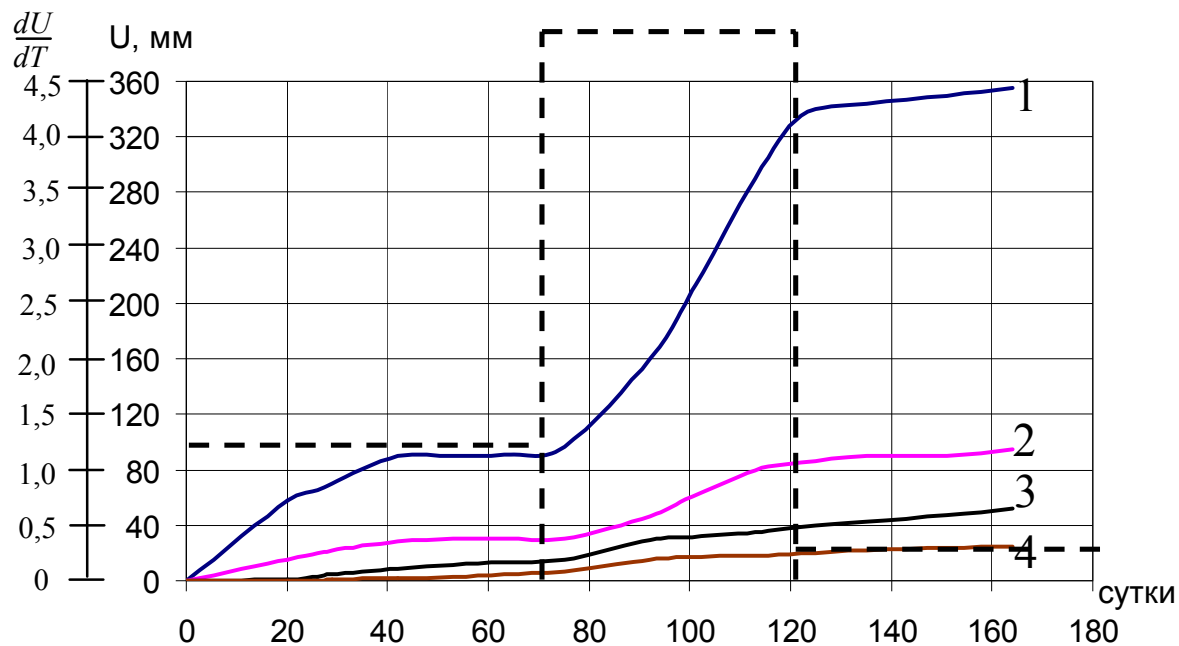


Рис. 2.7. Изменение величины и скорости изменения вертикальной 1 и горизонтальной 2 конвергенции и замков податливости (восстание 3 и падение 4) в выделенном сечении в зависимости от времени

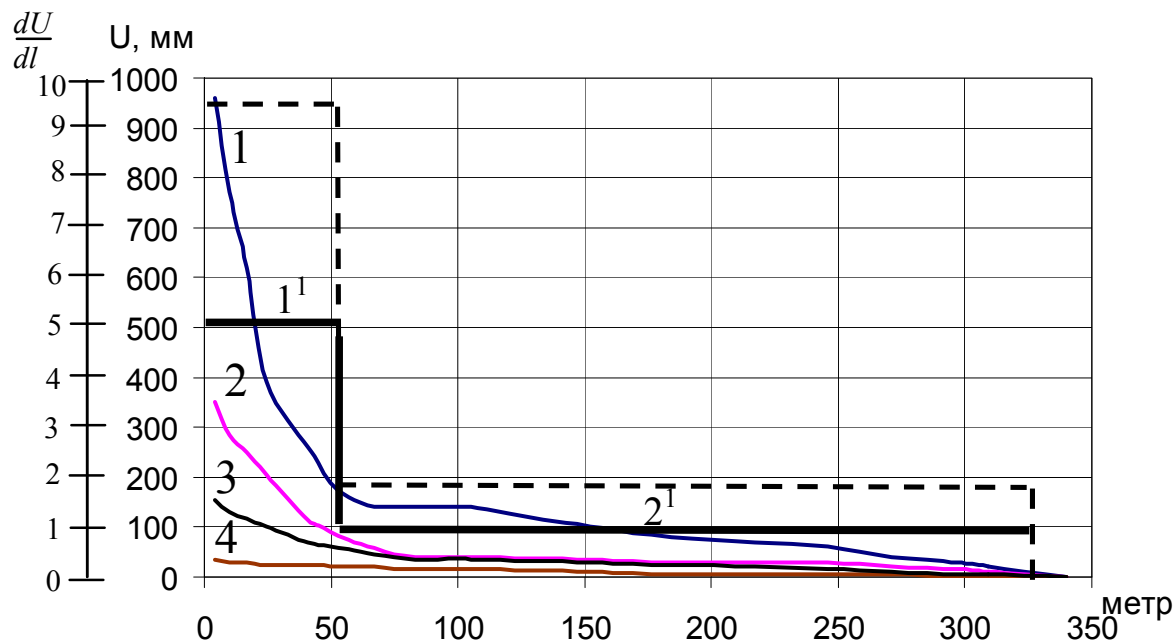


Рис. 2.8. Изменение величины и скорости изменения вертикальной 1 и горизонтальной 2 конвергенции и замков податливости (восстание 3 и падение 4) в зависимости от расстояния до лавы

- величина относительных смещений верхняков и стоек в узлах податливости со стороны восстания в 2 раза больше, чем со стороны падения (рис. 2.7);
- пучение пород почвы практически не наблюдается (смещения почвы составляют до 15 % от вертикальной конвергенции);
- в зоне влияния лавы выделяются две зоны поведения окружающего массива: первая – незначительные смещения контура выработки (расстояние до лавы более 50 м), вторая – интенсивные смещения контура выработки (расстояние до лавы менее 50 м) (рис. 2.8);
- величина относительных смещений верхняков и стоек в узлах податливости со стороны восстания в первой зоне в 2 раза больше, чем со стороны падения, а во второй – в 3,5 раза (рис. 2.8);
- при приближении лавы на расстояние до 30 м активизируется процесс пучения (смещения почвы составляют до 30% от вертикальной конвергенции);
- на момент ввода подготовительной выработки в эксплуатацию вертикальная конвергенция составила 51 см.

2.4. Анализ способов охраны и поддержания подготовительных выработок

Охрана горных выработок – это комплекс горнотехнических мероприятий, направленных на обеспечение сохранности выработки в соответствии с техническими условиями безопасной ее эксплуатации в течение всего срока службы.

В разные годы разработкой способов охраны и поддержания горных выработок занимались Бажин Н.П., Глушко В.Т., Друцко В.П., Заславский Ю.З., Зборщик М.П., Косков И.Г., Кошелев К.В., Литвинский Г.Г., Максимов А.П., Назимко В.В., Роечко А.Н., Усаченко Б.М., Черняк И.Л. и др.

Устойчивость породных обнажений и крепи охраняемых подготовительных выработок зависит от ряда геологических и горно-технических факторов: физико-механических свойств пород, угла падения и мощности пласта, трещиноватости пород, глубины заложения, формы сечения и расположения охра-

няемой выработки, но отношению к очистным выработкам и т.д. Но главными факторами, влияющими на сохранность выработки, как известно, являются напряженное состояние вмещающих пород и значения их физико-механических характеристик.

Можно выделить три основных направления по охране выработок: упрочнение слабых пород; разгрузка массива от избыточных напряжений; возведение искусственных сооружений, крепей за пределами контура выработки для управления состоянием массива вмещающих выработку пород. Мероприятия по охране выработок могут выполняться: заблаговременно (упрочнение массива пород, разгрузка массива от избыточных напряжений путем подработки трассы выработки); в период сооружения выработки (упрочнение массива пород, разгрузка от избыточных напряжений из сооружаемой выработки вслед за продвижением забоя); в период эксплуатации (тампотаж закрепного пространства, упрочнение пород, возведение искусственных ограждений за пределами контура выработки с целью сохранения ее для повторного использования).

Все способы охраны выработок разрабатываются и совершенствуются главным образом в двух направлениях (табл. 2.1) [16]:

1) сохранение или восстановление физико-механических свойств окружающих выработку пород, а в отдельных случаях и увеличение их природной прочности;

2) снижение концентрации напряжений в окружающих выработку породах путем смещения зоны повышенных давлений в глубь массива на определенное расстояние с помощью различных горно-технических мероприятий.

На шахтах Украины до последнего времени наиболее распространенными способами охраны подготовительных выработок являлись угольные целики и бутовые полосы. Эти способы охраны имеют существенные недостатки [17]:

1) с увеличением глубины разработки свыше 700 м целики, концентрируя на себя большие нагрузки, не обеспечивают в течение заданного срока службы необходимую устойчивость подготовительной выработки. Увеличение же размеров це-

ликов, особенно на мощных пластах, приводит к значительным потерям подготовленного к выемке угля;

Таблица 2.1

Способы охраны горных выработок

Сохранение, восстановление и увеличение природной прочности вмещающих пород	Снижение концентрации напряжений во вмещающих породах
Оставление угольных целиков	Выкладка бутовых полос:
Возведение железобетонных тумб	двойных
Применение гладкостенного взрывания	переменной плотности
Проведение выработок комбайном	Бурение разгрузочных скважин:
Применение набрызгбетона	до проведения выработки (предварительная разгрузка)
Повышение качества проходческих и крепёжных работ	после проведения выработки (последующая разгрузка)
Возведение жестких крепей:	Создание разгрузочных щелей:
бетонной	механической зарубкой
сборной железобетонной	камуфлетным взрыванием ВВ
смешанной	Надрработка и подработка породного массива:
металлической	предварительная
деревянной	последующая
Упрочнение пород способами:	Проведение выработок широким забоем:
механическими в том числе:	вслед за лавой с двусторонней раскоской
возведение анкерной крепи	впереди лавы с односторонней раскоской
уплотнение боковых пород взрывом	по схеме спаренных штреков
термическими в том числе:	Выбор формы сечения выработки:
замораживание	кольцевой
электроплавление	арочной
химическими в том числе:	трапецевидной
силикатизация	прямоугольной
использование синтетических смол	Применение податливых крепей
физико-химическими в том числе:	Устройство разгрузочных ниш
цементация	Применение комбинированных способов охраны – сочетание различных конструкций податливых и жестких охранных элементов
битумизация	Выбор места возведения крепи относительно проходческого забоя – технологическая податливость
глинизация	Проведение выработок по обрушенному и уплотненному породному массиву
электромеханическими в том числе:	Рациональное расположение выработок относительно друг друга
электроуправление	
электросиликатизация	
электросушение	

2) охрана выработок целиками, а тем более при их увеличении, приводит к

росту объема проведения подготовительных выработок за счет удлинения сбоек, печей и просеков;

3) при разработке свит пластов (особенно при мощности междупластий менее 40 м) целики, оставляемые на одном из пластов, оказывают вредное влияние на очистные работы и на поддержание подготовительных выработок на смежных пластах;

4) наличие целиков и бутовых полос снижает безопасность труда на выбросоопасных и удароопасных пластах;

5) охрана выработок бутовыми полосами при существующей ручной кладке весьма трудоемка, а большая податливость бутовых полос (до 50% вынимаемой мощности пластов) требует существенного увеличения поперечного сечения выработки и применения более сложной и дорогой крепи с повышенной податливостью;

б) применение бутовых полос при разработке свиты пластов не исключает со временем вредного влияния оставленных бутовых полос на выработки, проводимые над или под ними, так как после усадки полосы начинают работать как целики.

При вышеперечисленных способах охраны выработки оказываются последовательно в зоне влияния временного и остаточного опорного давления, а в последующем испытывают влияние целиков и бутовых полос как штампов. Поэтому нужно стремиться к применению таких способов проведения и охраны выработок, чтобы они:

- не испытывали влияния временного опорного давления;
- находились в дальнейшем в участках пониженных напряжений остаточного опорного давления;
- при воздействии временного опорного давления находились в дальнейшем в участках пониженных напряжений зоны остаточного опорного давления;
- не испытывали остаточного опорного давления вообще.

Этим принципиальным требованиям в той или иной мере удовлетворяют бесцеликовые способы охраны подготовительных выработок, которые можно разделить на три основные группы (рис. 2.9) [17, 18].

I группа – способы охраны выработок, поддерживаемых на границе с выработанным пространством с помощью костров, органных рядов, кустов стоек, железобетонных тумб и других возможных искусственных ограждений;

II группа – способы охраны выработок, проводимых вприсечку к выработанному пространству;

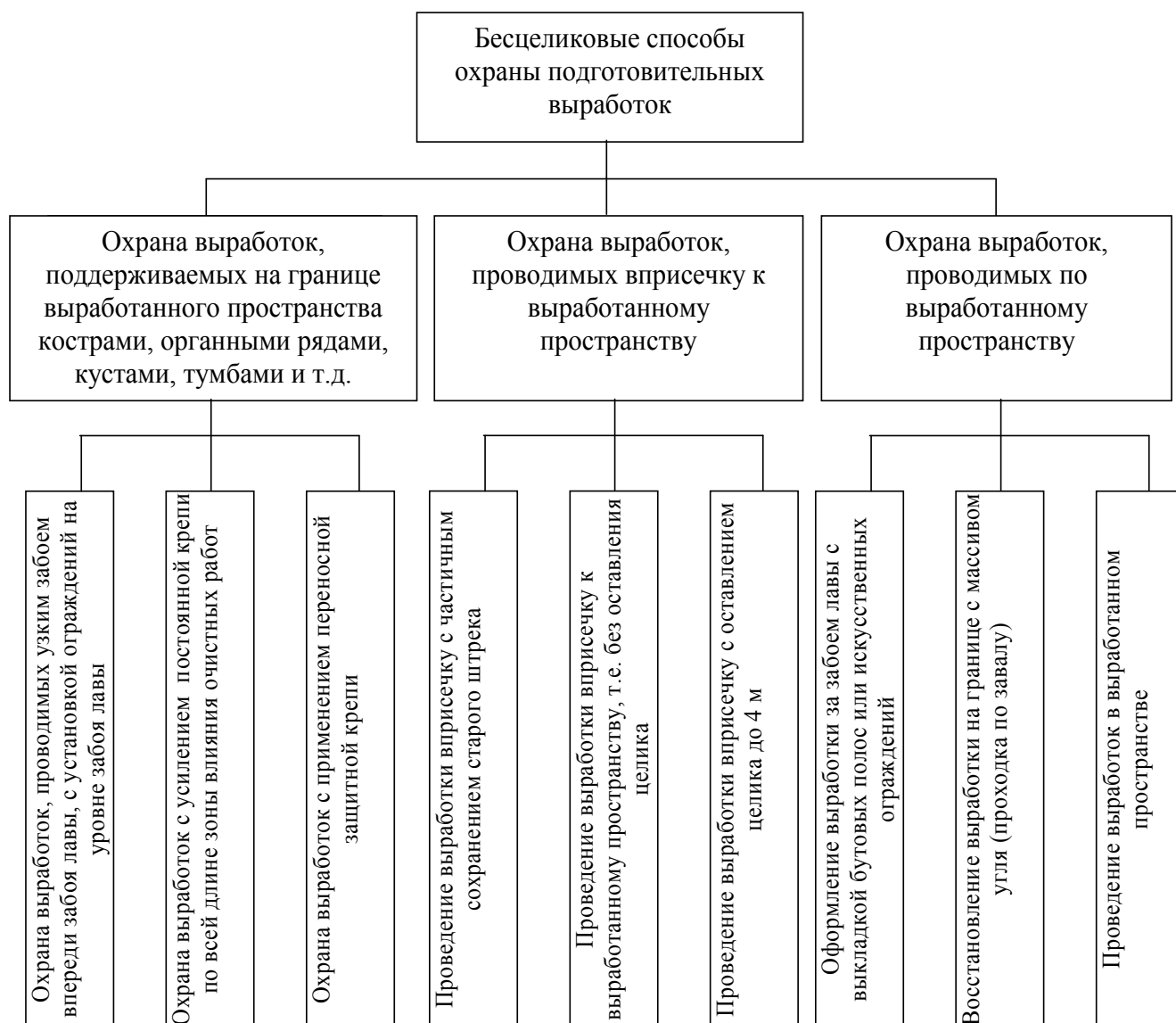


Рис. 2.9. Классификация бесцеликовых способов охраны подготовительных выработок

III группа – способы охраны выработок, проводимых, оформляемых или восстанавливаемых в выработанном пространстве.

Характеризуя развитие бесцеликовой отработки угольных запасов, следует отметить, что за последнее десятилетие добыча угля в Донбассе по прогрессивной технологии увеличилась на 65 %. Протяженность подготовительных выработок, охраняемых бесцеликовыми способами, составляет около 80 % годового объема их проведения и только 18-19 % протяженности выработок охраняется целиками угля [11].

Основной объем применения способов поддержания выработок без оставления целиков угля приходится на столбовую и сплошную системы разработки с сохранением штреков за лавой с целью их повторного использования, а также для подсыхания исходящей струи воздуха. При этом оказывается, что наибольшая протяженность выработок в неудовлетворительном состоянии, поддерживаемых за лавой, приходится на повторно используемые, наименьшая – на выработки, пройденные вприсечку к выработанному пространству.

Такое положение объясняется тем, что повторно используемые выработки поддерживаются в самых неблагоприятных горнотехнических условиях, основными из которых являются смещение пород при проведении выработки, опорное давление впереди и за лавой по границе очистных работ, опорное давление в зоне влияния второй лавы. Выработки, пройденные вприсечку, находятся в зоне разгрузки массива и в связи с этим в меньшей степени испытывают влияние очистных работ. В этом случае пониженное горное давление формируется от разрушения краевой части угольного массива у границ очистных работ.

Переход на бесцеликовые схемы подготовки пластов и ухудшение горнотехнических условий поддержания выработок стимулируют поиск новых технических решений. В литературе широко обсуждаются вопросы по выбору рациональных мер охраны и поддержания выработок. Однако проблема поддержания выемочных выработок, находящихся на большой глубине в условиях повышенного горного давления, в отечественной практике остается нерешенной.

С увеличением глубины разработки, прочности вмещающих пород кровли ширина зоны деформированного угля возрастает. Шахтными исследованиями установлено, что при породах неустойчивых и средней устойчивости присечные выработки целесообразно проводить с оставлением межлавного целика угля шириной 3-5 м. Смещения пород в таких выработках в среднем в 3 раза меньше, чем при охране целиками угля шириной 15-25 м, и в 1,2-1,5 раза меньше, чем при проведении выработок в массиве. С увеличением или уменьшением ширины межлавного целика величина смещений пород в присечных выработках возрастает, так как при целиках шириной 3-5 м достигается максимальная разгрузка вмещающего массива. С увеличением ширины целика до некоторого предела напряженное состояние пород возрастает, способствуя их разрушению и вытеснению в выработку. В то же время, уменьшение ширины целика вызывает рост нагрузки на крепь из-за вовлечения большой толщи нарушенных пород в деформационные процессы вокруг выработки.

С увеличением глубины разработки эффективность от проведения подготовительных выработок вприсечку к выработанному пространству возрастает. Однако, наряду с этим на больших глубинах суммарная величина смещений пород в таких выработках достигает сравнительно большой величины.

Проведение выработок вприсечку к выработанному пространству преимущественно реализуется в тяжелых горно-геологических условиях, когда повторное использование выработок сопряжено с большими материальными затратами. При этом в 70 % случаев проведения выработок вприсечку к выработанному пространству преобладает схема с оставлением угольного целика шириной 1-3 м. Повторное использование подготовительных выработок на шахтах Донбасса применяют при различных системах разработки, а его эффективность зависит, главным образом, от мощности пласта и устойчивости пород. Около 80 % повторно используемых выработок приходится на пласты мощностью до 1,2 м. В условиях неустойчивых пород доля лав, отрабатываемых с повторным использованием выработок, составляет 15 %.

Подготовительные выработки используют повторно в широком диапазоне горно-геологических условий: при мощности пласта до 2 м, угле паления до 35°, вмещающих породах различной устойчивости, на пластах различной метанообильности, на опасных и не опасных по выбросам угля и газа, различной глубине разработки.

Устойчивость подготовительных выработок предопределяется многими горнотехническими факторами, в частности схемой подготовки и системой разработки, способами их охраны и крепления.

Основным условием обеспечения устойчивости подготовительных выработок является быстрый ввод крепи в работу. Как отмечается в работе [1], это в настоящее время один из главных вопросов в решении проблемы охраны и поддержания подготовительных выработок. При отсутствии забутовки или ее некачественном возведении крепь длительное время не оказывает сопротивления смещению пород, что способствует образованию зон разрушенных пород вокруг выработки больших размеров.

Основным видом крепи подготовительных выработок глубоких шахт Донбасса является металлическая арочная податливая крепь из спецпрофиля. В настоящее время наибольшее распространение получила трехзвенная арочная крепь, эффективность применения которой с глубиной снижается ввиду ее малой конструктивной податливости (не более 300 мм).

Обладая низкой несущей способностью, арочная податливая крепь не влияет на геомеханические процессы, протекающие вокруг выработки, являясь, по сути, ограждающей конструкцией, функции которой сводятся к предохранению рабочего пространства выработки от вывалов и высыпания разрушенных пород, отслоившихся от нарушенного массива в кровле и боках.

Опыт применения способов, при которых повышают отпор крепи стойками усиления, показывает, что их установку нужно производить впереди лавы за зоной активного проявления опорного давления. В противном случае эффективность мероприятия снижается. При залегании в кровле песчаных сланцев это расстояние должно достигать 60-90 м, а при глинистых сланцах – 30-40 м [19].

По мнению И.Л. Черняка в глубоких шахтах Донецкого бассейна усиливающие крепи эффективно применимы при залегании в кровле угольных пластов тонкослоистых пород типа глинистых и песчанистых сланцев. Основное назначение усиленной крепи является препятствие смещениям пород и уменьшение протяженности зоны активного проявления опорного давления.

В более благоприятных условиях поддержания находятся выработки, сооружаемые позади очистного забоя при сплошной системе разработки. Эту систему широко применяют в весьма сложных горно-геологических условиях, на больших глубинах. Затраты на поддержание выработок при сплошной системе значительно ниже, чем при их проведении с опережением очистного забоя или столбовой системе с повторным их использованием.

Особую группу составляют выработки, проводимые в предварительно разгруженном массиве горных пород. К ним относятся выработки, проводимые вслед за лавой с двусторонними охранными полосами, проводимые вприсечку к выработанному пространству по обрушенным и уплотненным породам разрабатываемого пласта в предварительно надработанном и подработанном массиве.

В таких выработках глубина разработки не оказывает существенного влияния на состояние вмещающих выработку пород, поэтому увеличивать плотность установки крепи нет необходимости.

Однако, учитывая тот факт, что высокие нагрузки возникают преимущественно в лавах, отрабатываемых по столбовой системе, а также то, что доля этой системы из года в год растет, задача совершенствования способов поддержания выработок при столбовой системе приобретает особую актуальность.

Широкое распространение для охраны подготовительных выработок в Донбассе получили породные бутовые полосы. Основным достоинством этого способа охраны, выходящего за рамки требования по обеспечению поддержания выработки, является возможность оставления породы в шахте. Однако, высокая трудоемкость возведения полос вручную, а также большая их податливость при ручной выкладке, снижают эффективность их применения с точки зрения поддержания выработки. Повышение плотности породных полос способствует улучшению со-

стояния подготовительных выработок, а следовательно, снижению затрат на их содержание.

Наибольшая эффективность применения породных охранных полос достигается при сплошной системе разработки, когда породу от проведения выработки непосредственно на месте закладывают в выработанное пространство. Необходимость транспортирования породы от проходческих забоев к специальным дробильно-закладочным комплексам, а от них по трубам на значительные расстояния к очистным забоям снижает экономический эффект применения бутовых полос при столбовой системе разработки. С точки зрения поддержания охраны выработок породными полосами, возводимыми вручную или скреперными установками, имеет недостаток, связанный с неравномерным опусканием пород кровли в выработке за лавой из-за асимметричного нагружения крепи и преждевременной ее деформации. Кроме того, в определенных ситуациях породная полоса, уподобляясь угольному массиву, становится концентратором напряжений, работает как штамп, провоцируя вытеснение неустойчивых пород, вмещающих подготовительную выработку.

Многие годы на шахтах Донбасса широко и успешно в различных горно-геологических условиях, в том числе и на больших глубинах, применяется способ охраны выработок бутовыми полосами, выкладываемыми из породы, получаемой от подрывки почвы или кровли выработки, проводимой широким забоем. Охрана выработок бутовыми полосами сочетает в себе метод разгрузки массива от давления, особенно в первый период эксплуатации выработок, и метод ограждения выработки полосой с большой несущей способностью. Применение этого способа охраны сдерживается отсутствием надежного и производительного закладочного оборудования. В связи с этим большой интерес представляет разработанный дробильно-закладочный комплекс «Титан-1», предназначенный для механизации закладочных работ при проведении пластовых подготовительных выработок вслед за лавой или широким забоем [20]. При сохранении выработки за лавой при проведении ее вприсечку применяются бутовые полосы, в том числе двойные. Одна полоса опорная, шириной 6-7 м выкла-

дывается на расстоянии 6-8 м от штрека. Она воспринимает основную нагрузку со стороны пород кровли. Вторая полоса шириной 2-3 м возводится непосредственно около штрека. Пустое пространство между полосами является емкостью, в которую выдавливаются породы. Кроме того, при такой конструкции охранного сооружения достигается более плавное снижение напряженности пород кровли и почвы по направлению к выработке. Охрана штрека односторонней бутовой полосой несовершенна из-за несоответствия компрессионных характеристик полосы и пласта угля. В связи с этим возникают несимметричные относительно штрека напряжения, отрицательно влияющие на равновесие пород. Решение этого вопроса находят в искусственном ослаблении массива бурением разгрузочных скважин большого диаметра. Применение бутовых полос шириной более 3-4 м так же, как и целиков угля, сказывается отрицательно при выемке нижележащих пластов. В связи с этим желательно, чтобы искусственная полоса после ее использования могла быть разгружена или ликвидирована.

В работе [21] указывается, что на шахтах Западного Донбасса выкладка полос из закладочных материалов в лавах, зонах сопряжений лав со штреками – один из эффективных способов их охраны. В условиях труднообрушаемых кровель закладочные полосы являются основными средствами для охраны сопряжений и ниш в периоды посадки кровли. Выкладка закладочных массивов на сопряжениях лав со штреками позволяет не только поддерживать их в эксплуатационном состоянии и повторно использовать для отработки соседних столбов, но также обеспечивает лучшее проветривание штреков, так как сечение охраняемого полосой штрека больше, при прочих равных условиях, чем не охраняемого. При охране штреков полосами из пустых пород обеспечивается безотходность технологии их проходки.

Увеличение объема применения столбовой системы разработки с поддержанием штреков за лавой обусловило выполнение значительного числа работ, направленных на создание искусственных околоштрековых ограждений. На малых и средних глубинах широкое применение нашли искусственные ограждения, та-

кие, как чураковые стенки, деревянные костры, тумбы БЖБТ, органные ряды. На глубинах свыше 600 м для охраны выработок в основном используют накатные костры, бутокостры, кустокостры в сочетании с органными рядами. Выработки, как правило, проводят увеличенным сечением. Используют крепь повышенной конструктивной податливости, которую в зоне влияния очистных работ усиливают гидравлическими стойками или деревянными ремонтинами.

Однако, как показывает практический опыт, с увеличением глубины наблюдается сокращение объема применения повторного использования выработок при столбовых системах разработки. Такое положение дел объясняется тем, что с глубиной в несколько раз увеличиваются смещения пород, и повторное использование выработок сопряжено с большими затратами на их поддержание. Между тем, применяемые традиционные средства охраны выработок (чураковые стенки, БЖБТ, деревянные ограждения), с точки зрения их поддержания, равноценны и практически не влияют на величину и интенсивность смещений пород.

В работе [22] указывается, что, несмотря на преимущества охраны выработок проведением их повторно вприсечку к выработанному пространству, этот способ ведет к понижению концентрации горных работ и вызывает увеличение удельного объема подготовительных работ. Наиболее перспективным считается способ охраны выработок с помощью искусственных ограждений, возводимых вдоль штрека позади первой лавы. Если породы кровли слабые, легкообрушающиеся, авторы рекомендуют производить обрушение кровли на усиленную штрековую крепь, а при труднообрушаемой кровле – на полосы из твердеющих материалов.

Способ охраны выработок полосами из твердеющих материалов впервые испытан на шахте №9 «Великомостовская» ПО Укрзападуголь [23]. Ширина полосы – 1,3 м при вынимаемой мощности пласта 1,4 м. Сближение почвы с кровлей в штреке уменьшилось в 3 раза.

В ИГД им. А.А. Скочинского [24] проведена оценка области применения способа охраны штреков за лавой жесткими полосами в зависимости от глубины работ, мощности пласта и прочности вмещающих пород. Установлено, что

этот способ технически целесообразен при глубинах до 700 м, прочности пород кровли более 25 МПа и почвы 45 МПа. На больших глубинах прочность пород должна быть не менее 45 МПа.

По данным работы [25] в 2000-2001 году на шахте «Красноармейская Западная» №1 успешно был применен способ охраны выработок литыми полосами из различных смесей.

В работе [26] указывается, что, на шахтах Донбасса 19 % выработок, охраняемых железобетонными тумбами, находится в неудовлетворительном состоянии. На шахтах, где кровли разрабатываемых пластов представлены преимущественно легко- и среднеобрушаемыми породами, применение БЖБТ оказывается достаточно эффективным. Однако, как показывает практика, при наличии мощных труднообрушающихся пород эффективность этого способа снижается.

Неудовлетворительное состояние выработок, охраняемых железобетонными блоками, объясняется рядом недостатков, присущих этому средству охраны. Так, из-за неровной поверхности на контактах блоков возникают напряжения, превышающие прочность материала; при неравномерном нагружении блоки зачастую работают на растяжение, что резко снижает их несущую способность; при установке блоков на деревянные прокладки последние являются поверхностями скольжения, из-за чего ограждения теряют устойчивость и опрокидываются.

Литые полосы из твердеющих материалов предназначены для создания эффективной линии обрушения зависающих пород кровли пласта вдоль границы выработанного пространства, повышении устойчивости выемочного штрека благодаря уменьшению смещений пород и нагрузки на крепь, а также предотвращения чрезмерной утечки воздуха.

При данном способе охраны выработок прочность полосы подбирали близкой к прочности вмещающих пород. В противном случае имело место вдавливание полосы в кровлю и почву или ее разрушение. Как показывает анализ зарубежного опыта, основными преимуществами нового способа поддержания выработок по сравнению с породными полосами и деревянными кострами являются быстрое развитие сопротивления литой полосой при минимальной

податливости, обеспечение равномерно распределенной нагрузки со стороны смещающихся пород на арочную штрековую крепь, что благоприятно сказывается на условиях ее работы. При этом основным назначением околоштрековой полосы является обеспечение опоры породам кровли пласта. Полосы из быстротвердеющих материалов приобретают сопротивление, равное сопротивлению одного деревянного костра в 6-7 м за лавой, в то время как деревянный костер достигает своей полной несущей способности в 20-30 м за лавой. В некоторых случаях твердеющий материал помещают в оболочку [27].

Промышленное внедрение способа охраны подготовительных выработок литыми полосами, осуществляемое на шахтах Донбасса по рекомендациям и при научно-техническом руководстве авторов, показывает его явную перспективность.

Применение литых фосфогипсовых полос для охраны подготовительных выработок позволило полностью отработать выемочные столбы, сохранив выработки для повторного использования с незначительными затратами на их ремонт [11].

В отечественной практике отдельные экспериментальные работы по исследованию эффективности применения литых полос для охраны подготовительных выработок проводили в Днепрогипрошахте, Донуги, ИГД им. А.А. Скочинского. Исследования свидетельствуют о том, что при охране выработок литыми полосами не во всех случаях произошло снижение конвергенции пород. Так, литая полоса оказалась эффективной в тех случаях, когда основные смещения пород происходят за лавой, т.е. в момент возведения полосы, когда кровля пласта еще не нарушена.

Характеризуя применяющиеся в Донбассе средства охраны выработок, следует отметить, что наиболее простыми в возведении являются деревянные костры. Основными их недостатками являются малое сопротивление и большая податливость. Искусственные средства охраны при наличии в кровле пласта устойчивых пород не обеспечивают их обрушения, а при плавном же опускании пород кровли в выработанное пространство в массиве вокруг выработки возникают высокие напряжения, приводящие к значительным смещениям пород и деформации крепи.

Для увеличения жесткости околоштрековых ограждений при труднообрушающихся кровлях с целью обрыва консоли зависших пород применяют костры из шпального бруса, заполненные породой. Большая трудоемкость их возведения, а также отсутствие начального распора не позволяют использовать эти средства охраны в широком диапазоне горно-геологических условий.

По данным работы [28], охрана выработок в прочных вмещающих породах (более 40 МПа) наиболее эффективна при применении в качестве ограждающей полосы жесткой двухрядной органной крепи из дерева. При меньшей прочности пород охрана выемочных штреков осуществляется кострами или чураковыми стенками на глиняном растворе. Такая полоса имеет меньшую несущую способность, но более устойчива и, видимо, более соответствует по прочности породам кровли и почвы пласта.

В работе [29] рассматриваются возможности применения в качестве ограждений органные ряды, костры с органными рядами, кусты стоек; костры из шпального бруса, заполненные породой; костры или органные ряды с бутовой полосой; полосы из твердеющих материалов и др.

В ряде стран для повышения устойчивости подготовительных выработок используют тампонаж закрепного пространства и вмещающих пород твердеющими растворами. В Украине тампонаж как способ повышения устойчивости подготовительных выработок, примыкающих к очистному забою, не применяется вообще.

Между тем отечественный опыт, исследования авторов свидетельствуют о том, что тампонаж закрепного пространства и вмещающих пород в самых неблагоприятных горно-геологических условиях вне зоны влияния очистных работ является наиболее эффективным способом повышения устойчивости выработок.

С ростом глубины разработок все большее значение приобретает устойчивость вмещающих пласт пород кровли и почвы и боковая устойчивость самого пласта. Эффективным средством укрепления пород и угля является их анкерование. Разработано большое число конструкций анкерных крепей с закреплением цементными растворами или полиэфирными смолами [30].

Анкерная крепь, установленная сразу после проведения выработки, не дает породам потерять свою монолитность. Прогрессивными видами анкерной крепи являются те, которые скрепляют массив по всей длине анкера.

Одним из способов укрепления пород вокруг выработок, нашедших некоторое практическое применение, является укрепление почвы выработки цементным раствором, закачиваемым в шпуры с предварительным взрыванием в них небольших зарядов взрывчатых веществ [31].

Разгрузка массива угля от давления бурением скважин большого диаметра имеет хорошие перспективы, так как позволяет регулировать механическое состояние краевой части пласта. Этот способ внедрен на шахтах Донбасса и показал свою эффективность, но широкого распространения на практике пока не получил из-за отсутствия соответствующего серийного оборудования [32].

На основании изложенного можно прийти к выводу, что вопросы выбора рациональных средств и способов крепления и поддержания подготовительных выработок в сложных условиях эксплуатации все еще очень актуальны, так как от их правильного решения зависят и безопасность работ, и своевременная подготовка очистного фронта, и технико-экономические показатели.

2.5. Способ охраны и поддержания подготовительной выработки в условиях шахты “Шахтерская-Глубокая”

Выбор рационального способа охраны подготовительной выработки определяется принимаемой технологической схемой подготовки и отработки пластов угля, которая, в свою очередь, зависит от большого числа горно-геологических и горнотехнических факторов: глубины горных работ, состава пород, вмещающих пласт угля, и их физико-механических свойств, газоносности пластов, склонности их к самовозгоранию, технических средств для организации проветривания и других факторов.

Наиболее рациональные способы охраны вентиляционных и откаточных штреков для пластов пологого и наклонного залегания принимают с позиций геомеханики, метанообильности пластов и эндогенной пожароопасности [33].

Выделяют следующие способы охраны выработок [33]:

1 – поддержание выработок в массиве угля с погашением их за забоем одинарной или спаренной сдвоенной лавы;

2 – повторное использование расположенных на границе с выработанным пространством выработок, охраняемых с помощью искусственных ограждений или целиков угля (при их погашении за вторым очистным забоем; при их сохранении за вторым очистным забоем для целей вентиляции);

3 – повторное использование одной из спаренных выработок, которые сохраняются с помощью временных целиков угля, извлекаемых при отработке второго очистного забоя, или с помощью породных полос, возводимых в процессе проведения спаренных выработок (при их погашении за вторым очистным забоем; при их сохранении за вторым очистным забоем для целей вентиляции);

4 – проведение выработок вприсечку к выработанному пространству ранее отработанных выемочных столбов с погашением их за очистным забоем;

5 – оформление выработок за очистным забоем и сохранение их в выработанном пространстве при сплошной и комбинированных системах разработки (с погашением после отработки выемочного столба; с сохранением для отработки соседнего столба и целей вентиляции).

Наиболее типичными нарушениями технологии поддержания выработок, примыкающих к очистным забоям, при отработке одиночного пласта являются:

- проведение выработок без запаса сечения на величину смещения пород;
- оставление в почве выработок слоев пород, склонных к пучению;
- несоответствие геометрической формы крепи характеру смещения пород по периметру выработки в процессе ее работы;
- недостаточная плотность основной крепи и применяемых средств ее усиления;

- охрана в несоответствующих горно-геологических условиях;
- неправильный выбор параметров способа охраны;
- ремонт крепи в зоне влияния очистных работ;
- неполная посадка кровли в лаве.

Для присечных выработок дополнительно:

- недостаточный разрыв во времени между погашением выемочного столба и началом проведения присечной выработки;
- неполное погашение выработки в ранее отработанном столбе;
- оставление целиков размером менее 2 м при схеме с оставлением целиков;
- отсутствие усиления крепи при наличии в боках выработок глин;
- несвоевременное возведение средств усиления основной крепи;
- недостаточный дренаж подошвы выработок.

Для выработок, оформляемых за очистным забоем:

- неправильный выбор места расположения выработки;
- неправильный выбор параметров ограждений для охраны выработок.

Для выработок, проводимых по выработанному пространству:

- преждевременное их проведение без учета степени уплотнения обрушенных пород.

Наиболее типичные нарушения технологии поддержания выработок, проводимых при отработке свиты сближенных пластов:

- неправильный выбор места расположения выработки относительно краевых частей ранее отработанных лав по выше- или нижележащим пластам;
- неправильный выбор границ очистного пространства действующих лав относительно ранее пройденных выработок на выше- или нижележащих пластах;
- отсутствие мер по усилению крепи выработок, проводимых под (над) краевыми частями пластов или целиками, а также выработок, подвергающихся непосредственно наработке или подработке.

Опыт работы шахты “Шахтерская-Глубокая” показывает, что неблагоприятное состояние подготовительных выработок является одним из узких мест, сдерживающих развитие и ухудшающих комфорт производства. На фоне постоянного увеличения глубины разработки угольных пластов и интенсивности их отработки значительно возрастает величина горного давления, что приводит к резкому ухудшению условий проведения и поддержания подготовительных выработок. Многочисленные существующие способы и средства обеспечения их устойчивости оказываются во многих случаях недостаточными.

На уровне современных представлений о процессах, происходящих в массиве горных пород в результате выемки угольного пласта, направления в обеспечении устойчивости подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ можно разбить на пять групп в зависимости от тех методов, которыми обеспечиваются благоприятные условия поддержания.

1. Выбор наиболее рационального расположения выработок относительно очистных работ.

2. Создание специальных охранных элементов, противодействующих силам горного давления или же обеспечивающих их минимальное влияние, создавая эффект разгрузки.

3. Создание специальных методов разгрузки, понижающих концентрацию напряжений в окружающих выработку породах.

4. Создание способов сохранения прочности пород, а также их упрочнения.

5. Применение рациональных видов крепи, обеспечивающих наиболее эффективное с точки зрения устойчивости выработки взаимодействие с окружающими породами в условиях развивающихся сил горного давления.

Эффективность принятой схемы охраны выработки в данных конкретных условиях зависит от того, насколько правильно сочетаются в схеме эти направления.

На основе выполненного выше анализа предложен новый способ повышения устойчивости подготовительных выработок в условиях шахты “Шахтерская-Глубокая” (рис. 2.10).

Он заключается в том, что выработку проводят широким забоем, с формированием раскоски со стороны восстания, в ней устанавливают охранную конструкцию из железобетонных плит, возводят арочную крепь с усилением тремя анкерами.

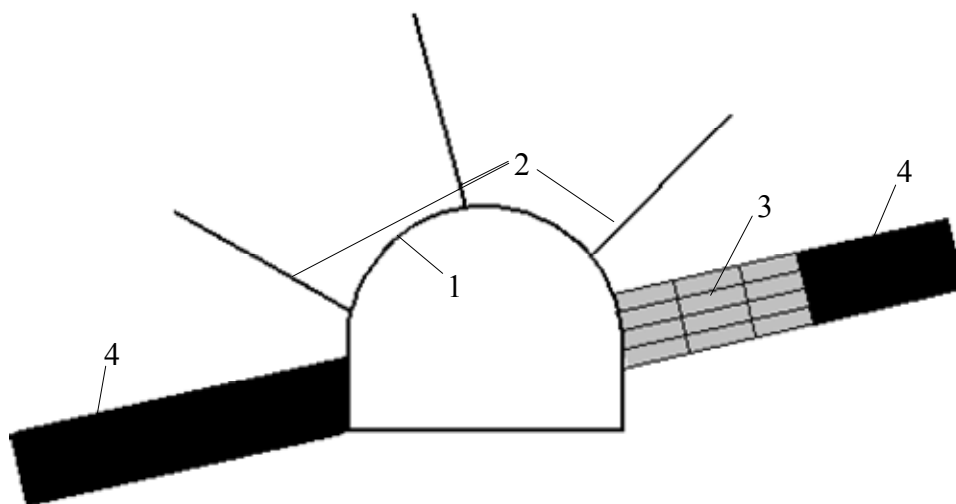


Рис. 2.10. Схема нового способа повышения устойчивости подготовительных выработок на больших глубинах: 1 – арочная крепь; 2 – анкерная крепь; 3 – охранная конструкция из железобетонных плит; 4 – будущие лавы.

Новый способ повышения устойчивости подготовительных выработок может использоваться при пологом залегании пород. Он позволит обеспечить возможность поддержания необходимого сечения выработки, как при отработке первой лавы, так и при повторном использовании, приведет к снижению объемов и стоимости ремонтных работ и улучшит технику безопасности ведения горных работ.

Обоснование параметров нового способа повышения устойчивости подготовительных выработок должно выполняться на основе изучения закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния приконтурного массива пород с помощью физического и математического моделирования, а также проведением шахтных испытаний.

ГЛАВА 3

ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СПОСОБА ОХРАНЫ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ НА МОДЕЛЯХ ИЗ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

3.1. Общие сведения о моделировании

Методы моделирования достаточно широко используются во многих отраслях науки и техники. Применительно к механике подземных сооружений эти методы позволяют выяснить основные качественные элементы механизма процессов сдвижения, деформации и разрушения горных пород при ведении очистных и подготовительных работ. Одним из методов исследования сложноструктурных объектов является моделирование в лабораторных условиях различных физических процессов.

Цель моделирования заключается в воспроизведении и изучении на модели физического процесса, подобного происходящему в натуральных условиях.

В механике горных пород, изучающей, как правило, объекты весьма больших размеров, применяют моделирование второго рода, с уменьшением абсолютных размеров объектов. Массив горных пород является весьма сложной средой, в различных частях которого при ведении горных работ одновременно происходят процессы деформирования различного характера: упругое деформирование, необратимые пластические деформации, смещения и разрушение пород с разрывом сплошности. Поэтому теоретические расчеты деформирования горных пород, прочности и устойчивости горных выработок и различных сооружений в породных массивах часто представляют собой трудно-решаемую задачу. Натурные исследования отличаются значительной трудоемкостью, высокой стоимостью, требуют довольно длительного периода времени. Кроме того, в натуральных условиях обычно весьма ограничены возможности варьирования параметрами системы, технологией и последовательностью веде-

ния горных работ, тогда как при моделировании можно проследить влияние основных параметров в самых широких пределах.

Таким образом, с помощью физического моделирования возможно изучать процессы механики горных пород, которые не дают ни аналитические методы, ни наблюдения и измерения в натуральных условиях.

В то же время на моделях невозможно воспроизвести все детали моделируемых объектов. Поэтому моделирование позволяет вести изучение процессов с определенной степенью упрощения и схематизации натуральных объектов, что существенно облегчает интерпретацию результатов шахтных наблюдений и измерений, позволяя с большей степенью обобщения проследить и уточнить механизм процессов и максимально полно изучить влияние на эти процессы действующих факторов.

Обычно при решении задач механики горных пород методами моделирования испытанию подвергают серию моделей различных масштабов, используя при этом наиболее эффективный для решения конкретной задачи метод.

Наиболее удобным для исследования проявлений горного давления является метод моделирования на эквивалентных материалах, предложенный Кузнецовым Г.Н. [34].

Весьма ценным методом, позволяющим получать важные относительные количественные характеристики неоднородных напряженных состояний элементов сложных механических систем, является также оптический метод [35] исследования напряженного состояния вокруг подземных выработок.

При одновременном действии сил тяжести и упругости механическому подобию удовлетворяет метод центробежного моделирования [36, 37] и др.

3.2. Сущность метода моделирования на эквивалентных материалах

Наиболее освоенным и широко распространенным в настоящее время является уже отмечавшийся выше метод моделирования на эквивалентных материалах. Его применяют для изучения проявлений горного давления в очистных

и подготовительных выработках при разработке месторождений полезных ископаемых и в подземных капитальных выработках; пучения пород, сдвигения массивов и других физических процессов, происходящих в массиве в связи с проведением в нем горных работ.

Одним из преимуществ метода моделирования на эквивалентных материалах является возможность измерения показателей, отражающих НДС массива в интересующих областях, которые в натуральных условиях осуществить практически невозможно ввиду труднодоступности участков массива.

Метод подробно описан в работах Кузнецова Г.Н. [34], Ильштейна А.М. [38], Шашенко А.Н. [39], рекомендации которых были использованы при выполнении настоящих исследований.

Сущность моделирования методом эквивалентных материалов [34, 40] заключается в замене естественных горных пород такими искусственными материалами в модели, основные показатели физико-механических свойств которых удовлетворяют требованиям общих положений теории механического подобия и обеспечивают достижение близкой аналогии в проявлениях деформаций, разрушений и смещений пород, происходящих в натуре и в модели под воздействием сил тяжести самих материалов, слагающих модель, и соответствующих пригрузок.

Метод эквивалентных материалов основан на теории механического подобия Ньютона, который предполагает геометрическое, кинематическое и динамическое подобие.

Геометрическое подобие

$$\frac{l'_n}{l'_m} = \frac{l''_n}{l''_m} = \dots = \frac{l^i_n}{l^i_m} = C_l,$$

где l'_n, l'_m – линейные размеры модели и области в натуре.

Кинематическое подобие

$$\frac{\tau'_n}{\tau'_m} = \frac{\tau''_n}{\tau''_m} = \dots = \frac{\tau^i_n}{\tau^i_m} = C_\tau,$$

где τ'_n, τ'_m – промежуток времени в натуре и модели.

Динамическое подобие

$$\frac{m_n^i}{m_m^i} = \frac{m_n''}{m_m''} = \dots = \frac{m_n^i}{m_m^i} = C_m,$$

где m_n , m_m – масса частицы в натуре и модели.

При условии удовлетворения всех критериев подобия для эквивалентных материалов и обеспечении геометрического подобия природы и модели совпадение механических процессов может быть обеспечено при подобии граничных условиях.

Модель достаточно полно отражает НДС массива в натуре. Соблюдение же граничных условий по торцам модели не представляется возможным, однако, в силу известного принципа Сен-Венана, можно утверждать, что роль торцов становится заведомо малой на расстояниях от них, равных высоте модели. Поэтому при отработке моделей замеры величин смещений кровли и давления на крепь являются достоверными только на ее средней части.

Моделирование на эквивалентных материалах позволяет с большой степенью детальности проследить механизм процессов в толще пород при движении забоя выработки, особенно процессов деформирования пород с разрывом сплошности, что обычно исключено при других методах моделирования. Вследствие этого метод эквивалентных материалов является наиболее действенным, благодаря чему он получил широкое применение при решении различных задач механики горных пород.

3.3. Подбор материалов для моделирования горно-геологических условий шахты “Шахтерская-Глубокая”

Выбор эквивалентного материала является одним из основных вопросов при решении конкретной задачи методом моделирования. Широкий диапазон физико-механических свойств горных пород весьма трудно воспроизвести на каком-либо одном типе эквивалентных материалов.

Поэтому подбор и испытания эквивалентных материалов для изготовления моделей были направлены в сторону изыскания удобообрабатываемых смесей, которые не обладали бы длительными сроками схватывания и твердения, а по своим физико-механическим свойствам обеспечивали бы подобие с горными породами. При этом безразмерные константы – коэффициент Пуассона и угол трения – численно должны совпадать в эквивалентном материале и натуральных горных породах.

Помимо этого, принятый к испытанию конкретный эквивалентный материал должен, прежде всего, соответствовать общим требованиям:

- количественного подобия физико-механических характеристик материалов модели и природы;
- качественного соответствия характера деформирования и разрушения материалов модели и природы;
- технологического характера, обуславливающего возможность быстрого и качественного изготовления эквивалентных материалов;
- структурной прочностной и деформационной однородности эквивалентных материалов по всему объему модели;
- стабильности, т.е. неизменности во времени свойств готового материала и их независимости от условий окружающей среды.

Компоненты эквивалентных материалов должны быть по возможности доступными и дешевыми.

Исходными инертными материалами для моделирования могут служить кварцевый или речной песок, молотая слюда (мика), тальк, мел, глина и др. Кроме того, в некоторых случаях применяются дробь, чугунная стружка, резиновая крошка, древесные опилки. В качестве цементирующих веществ в основном используются гипс, цемент, клей силикатный, парафин, канифоль, технический вазелин.

Все применяемые связующие вещества разделяются на четыре группы:

1. Углеводороды нефтяного происхождения, обладающие пластичными или упругопластическими свойствами;

2. Неорганические вещества, являющиеся хрупкими;
3. Синтетические полимеры, имеющие хрупкие или упругопластические свойства;

4. Смолы естественного происхождения, относящиеся к хрупким веществам.

В качестве эквивалентного материала была принята песчано-парафино-графитовая смесь с добавлением технического вазелина [41, 42].

Приготовление эквивалентного материала выполнялось следующим образом.

Речной кварцевый песок тщательно просеивается и промывается для ликвидации посторонних примесей. Затем он рассыпается тонким слоем (1...2 см) на металлическом листе и в условиях лаборатории производится его сушка в течение 5 дней. Каждые сутки песок несколько раз перемешивают с целью равномерного просыхания.

Сухой песок смешивают с соответствующим количеством измельченного парафина, порошкообразного графита и солидола. Полученную смесь тщательно перемешивают, укладывают в металлическую емкость с плотной крышкой и помещают в водяную баню, где смесь прогревается в течение 2...3 часов при температуре 130 ± 5 °С. За это время ее следует 3...5 раз дополнительно перемешать с целью равномерного прогрева.

Так как с помощью вышеуказанной смеси полного подобия всех физико-механических характеристик эквивалентного материала и горных пород природы достигнуть трудно, то допускаем сокращение числа соблюдаемых условий подобия. В качестве определяющих характеристик прочности используем совокупность значений временного сопротивления пород на сжатие $R_{сж}$ и растяжение R_p .

Для соблюдения условий подобия выполняем следующие равенства:

– для внешних сил:

$$P_m = \frac{\gamma_m l_m^3}{\gamma_n l_n^3} P_n, \quad (3.1)$$

где γ_n, γ_m – объемный вес материала природы и модели;

– для процессов разрушения:

$$R_{сж.м} = \frac{l_m \gamma_m}{l_n \gamma_n} R_{сж.н} ;$$

$$R_{р.м} = \frac{l_m \gamma_m}{l_n \gamma_n} R_{р.н} .$$

Для соблюдения подобия процессов механики горных пород в области упругих деформаций выполняем следующие равенства:

$$E_m = \frac{\gamma_m l_m}{\gamma_n l_n} E_n ;$$

$$\mu_m = \mu_n ,$$

где E – модуль упругости;

μ – коэффициент Пуассона.

Для соблюдения подобия механических процессов в массиве горных пород в области пластических деформаций во всем диапазоне напряжений от начальных до разрушающих, без учета влияния времени, выполняем следующее условие:

$$\frac{\varepsilon_{п.м}}{(\varepsilon_y + \varepsilon_n)_m} = \frac{\varepsilon_{п.н}}{(\varepsilon_y + \varepsilon_n)_n} .$$

При этом

$$(\varepsilon_y + \varepsilon_n) = f(\sigma),$$

где ε_n и ε_y – пластическая и упругая относительные деформации.

Определение предела прочности при сжатии, модуля упругости и коэффициента Пуассона выполнялись на цилиндрических образцах с помощью малогабаритного пресса в лаборатории кафедры СГГМ Национального горного университета. Указанный прибор позволяет регистрировать нагрузку и соответствующие ей деформации на образцах.

Объемный вес определялся обычным методом [43]: путем измерения объема точной навески материала в мерном стеклянном цилиндре. Уплотнялся материал постукиванием в течение 5 минут. Примерная навеска 500 г, цена деле-

ния цилиндра – 2 см^3 . Методика проведения испытаний подробно описана в работах [42, 44, 45].

В ходе исследований было испытано 9 различных составов эквивалентного материала. Для каждого состава было проведено 7 серий испытаний. В результате определены 3 состава, которые по своим физико-механическим параметрам наиболее полно воспроизводят свойства горных пород шахты “Шахтерская Глубокая”. В дальнейших лабораторных исследованиях использовались следующие смеси: состав №1 (песок – 94,7 %, парафин – 3,8 %, графит – 0,9 %, технический вазелин – 0,6 % по массе) соответствует аргиллитам, состав №2 (песок – 94,6 %, парафин – 3,9 %, графит – 0,9 %, технический вазелин – 0,6 %) – алевролитам, состав №3 (песок – 91,5 %, парафин – 7,2 %, графит – 0,9 %, технический вазелин – 0,4 %) – песчаникам.

Таким образом, подобранный эквивалентный материал для вмещающих пород и угля обладает сходными с натурными физико-механическими свойствами с небольшими отклонениями в сравнении с шахтным данными.

3.4. Методика формирования моделей

Работы по моделированию выполнялись на специальном стенде, представляющем собой плоскую камеру с передней стенкой из оргстекла и систему рычажных домкратов. Масштаб моделирования принят 1:50. Внутренняя поверхность рабочей камеры стенда перед формированием модели тщательно протирается графитовым порошком для уменьшения сил трения на контакте “эквивалентный материал – стекло”. Затем привинчивается передняя крышка стенда, изготовленная из прозрачного оргстекла толщиной 30 мм. К верхней кромке крышки крепятся ребра жесткости для предотвращения выпучивания оргстекла.

Формировалась модель слоями толщиной 5...10 мм согласно масштабу моделирования. Для создания “монолитности” исследуемой модели закатка эквивалентного материала производилась следующим образом: после укатки пер-

вого слоя поверхность его разрыхлялась, чтобы создать шероховатость для лучшей связи с последующим слоем, и сразу же закатывался новый слой, образующий общий монолитный слой с предыдущим. При закладке эквивалентного материала слои с различными физико-механическими свойствами, укатывались отдельно друг от друга с интервалом не менее 5 минут и разделялись тонким слоем мела, что также способствовало лучшему визуальному восприятию неоднородности массива. Уплотнение каждого слоя происходило вследствие статического приложения груза массой 20 кг.

Таблица 3.1

Физико-механические свойства глинистого сланца
и эквивалентного материала

Характеристика материала	Натуры	Модели
1. Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	60	0,39...0,41
2. Модуль упругости, МПа	$1,3 \cdot 10^4$	$0,018 \dots 0,019 \cdot 10^4$
3. Объемная масса, т/м ³	2,4	1,9...2,1
4. Коэффициент Пуассона	0,24	0,235...0,245

Таблица 3.2

Физико-механические свойства песчаного сланца
и эквивалентного материала

Характеристика материала	Натуры	Модели
1. Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	70	0,46...0,49
2. Модуль упругости, МПа	$1,8 \cdot 10^4$	$0,022 \dots 0,025 \cdot 10^4$
3. Объемная масса, т/м ³	2,4	1,9...2,1
4. Коэффициент Пуассона	0,23	0,225...235

Физико-механические свойства песчаника и эквивалентного материала

Характеристика материала	Натуры	Модели
1. Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	130	0,81...0,84
2. Модуль упругости, МПа	$3,3 \cdot 10^4$	$0,042 \dots 0,046 \cdot 10^4$
3. Объемная масса, т/м ³	2,6	2,1...2,3
4. Коэффициент Пуассона	0,2	0,195...0,205

После того, как модель породного массива сформирована, сверху прикладывалась нагрузка интенсивностью 0,65 кН. В таком состоянии модель выдерживалась в течение одного часа. Затем нагрузка снималась, убиралась передняя стенка стенда. Далее на поверхность модели наносили с помощью шнура и мела прямоугольную мерную сетку с размерами ячейки 2 x 2 см. В центре модели “проходила” выработка. Высота и ширина ее составляла, в пересчете на натуру, 3,5 и 5 м соответственно. После этого, на первом этапе испытаний, в выработке устанавливались различное количество анкеров, на втором, железобетонные блоки различной ширины в раскосе со стороны восстания. Силовые характеристики приборов, имитирующие работу анкерной крепи и охранных элементов в модели, удовлетворяют условию (3.1).

При испытаниях была принята технология установки анкеров, близкая к натурной, то есть скважина под анкер пробуривалась на модели после ее изготовления, в скважину шприцем вводили раствор, воспроизводящий действие закрепляющего раствора, а далее вставляли стержень из медной проволоки диаметром 1 мм, имитирующий анкер. В качестве раствора, закрепляющего анкер в скважине, использовали силикатный клей, который был подобран таким образом, что усилие выдергивания анкера в модели соответствовало в пересчете по масштабу модели усилию выдергивания в натуре и составляло 180...240 грамм. Степень скрепления эквивалентного материала и усилие выдергивания определялись на блоках, вырезанных из основной модели.

Затем на стенде закреплялась передняя стенка из оргстекла, ребра жесткости и с помощью рычажных домкратов моделируемый массив загружался. Нагрузка задавалась с интервалом в 2 кг. Возникающие при этом деформации мерной сетки регистрировались фотоаппаратом, установленным в одном положении на время всего эксперимента. Качественная картина поведения массива строилась на основании изучения изменений фиксированного квадрата мерной сетки на фотоснимках.

3.5. Проведение экспериментов и анализ полученных результатов

Целью первого этапа моделирования было определить достаточное количество анкеров, как крепи усиления рамной, в подготовительной выработке вне зоны влияния лавы для поддержания её в эксплуатационном состоянии. Моделировалась слоистая среда, которая имитировала горно-геологические условия 1-го западного конвейерного штрека УП ЦБ пласта h_8 (рис. 2.1) шахты “Шахтерская-Глубокая”.

Для исследования определены 6 основных ситуаций размещения крепи в выработке (рис. 3.1): выработка без крепи (вар. 1), выработка с арочной крепью (вар. 2), выработка с арочной крепью + один анкер (вар. 3), выработка с арочной крепью + два анкера (вар. 4), выработка с арочной крепью + три анкера (вар. 5) и выработка с арочной крепью + четыре анкера (вар. 6). Длина анкеров – 1,0...3,5 м.

Минимально необходимое количество испытаний одного варианта определялось по формуле:

$$n = t_{\alpha}^2 \left(\frac{\eta}{q} \right)^2, \quad (3.2)$$

где t_{α} – коэффициент Стьюдента, принимаемый по соответствующей таблице [46]; η – коэффициент вариации, %; q – допустимое отклонение, %.

Допустимое отклонение было принято 10 % (вероятность – 0,9), тогда $t_{\alpha}=1,64$. По формуле (3.2) достаточное количество испытаний для каждого варианта составит:

$$n = 1,64^2 \left(\frac{0,1}{0,1} \right)^2 = 2,69.$$

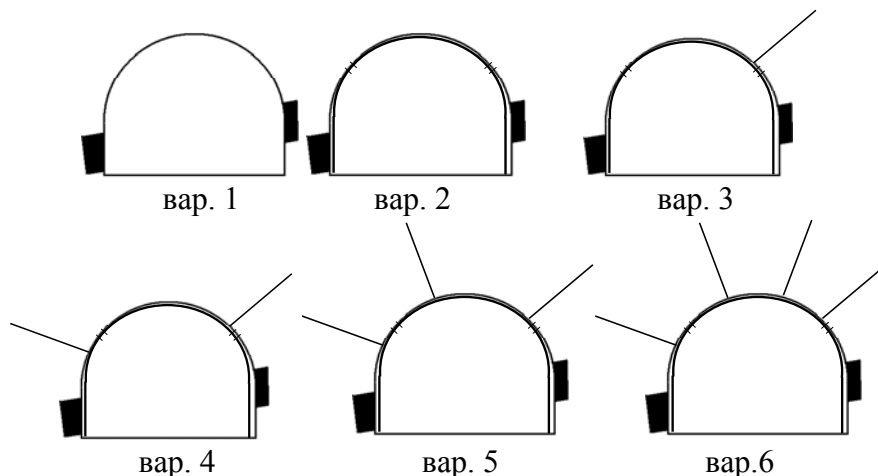


Рис. 3.1. Схемы крепления выработки вне зоны влияния очистных работ

Таким образом, учитывая довольно высокую однородность эквивалентного материала, испытания каждого из рассматриваемых вариантов должно было производиться не менее чем 3 раза. Во время выполнения моделирования в вариантах 3-6 изменялись места установки, углы наклона и длина анкеров. Фактически, с учетом отладки процесса моделирования и числа продублированных вариантов, было испытано около 50 моделей.

Общий вид моделей при начальной и конечной нагрузках приведены на рис. 3.2...3.4.

По результатам исследования построены зависимости смещения кровли, почвы и боков выработки от варианта крепления выработки рис. 3.5 и смещения кровли от длины анкеров рис. 3.6 при нагружении модели γH .

Анализ результатов моделирования позволил сделать следующие выводы:



Рис. 3.2. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (вариант 1)

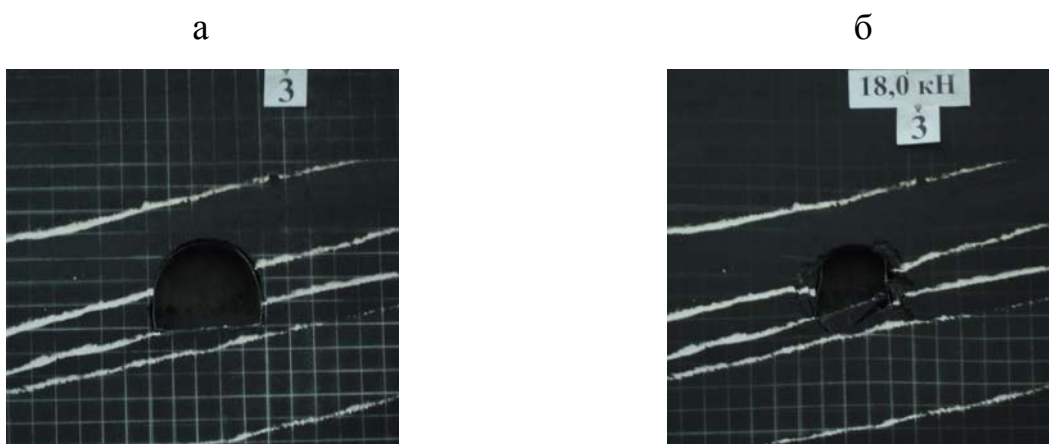


Рис. 3.3. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (вариант 2)

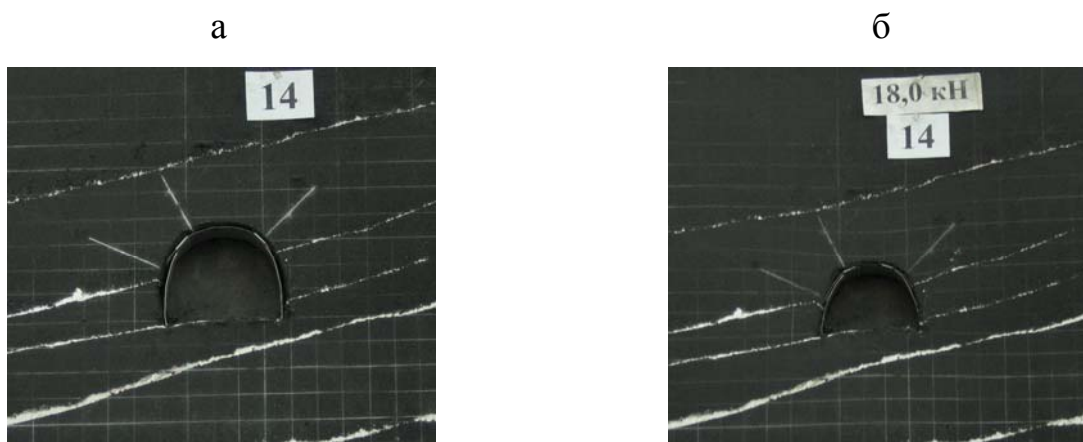


Рис. 3.4. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (вариант 5)

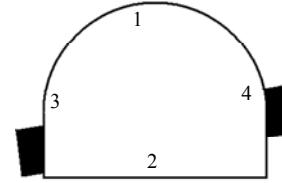
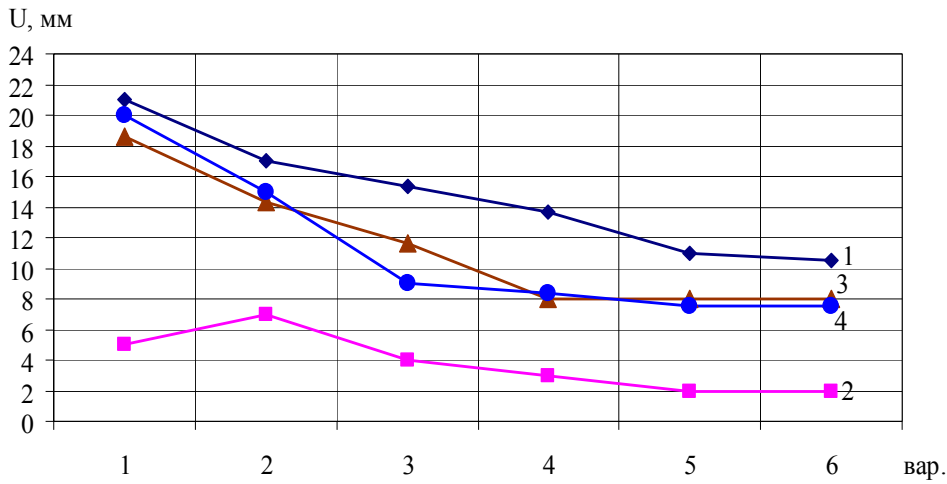


Рис. 3.5. Смещения кровли (1), почвы (2) и боков выработки (3, 4) при нагружении модели γH

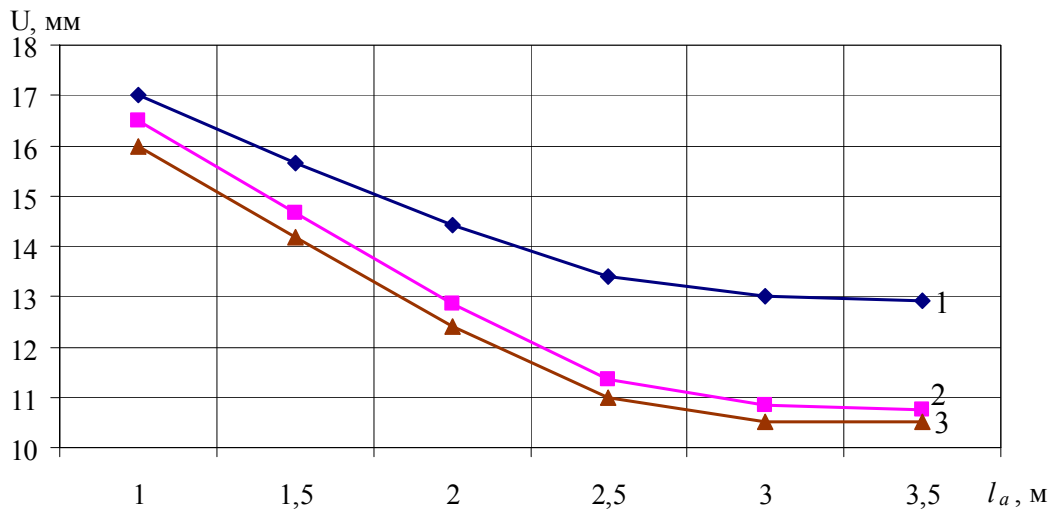


Рис. 3.6. Зависимость изменения смещений кровли от длины анкеров при нагружении модели γH (1 – вар. 4; 2 – вар. 5; 3 – вар. 6)

– трещины в боках и почве выработки появляются при нагружении модели: незакрепленная выработка – $0,33\gamma H$ и $0,75\gamma H$, выработка с арочной крепью – $0,55\gamma H$ и $0,8\gamma H$, выработка с рамно-анкерной крепью (вар. 5) – $0,8\gamma H$, нарушения в почве не наблюдались;

– установка анкерной крепи (рис. 3.4) выполнялась в местах наибольших деформации приконтурного массива (рис. 3.3, б), что совпадает с результатами натурных исследований;

– рациональная длина анкеров составила 2,8...3,2 м (рис. 3.6);

– из рис. 3.5 и 3.6 видно, что увеличение количества анкеров (вар. 5 и 6) не приводит к значительному улучшению геомеханической ситуации вокруг подготовительной выработки, поэтому вариант 5 принят как наиболее рациональный способ поддержания подготовительной выработки вне зоны влияния очистных работ в условиях шахты “Шахтерская-Глубокая”;

– использование рамно-анкерной крепи (вар. 5) по сравнению с рамной крепью (вар. 2) уменьшает смещения кровли на 35%, почвы на 70 %, боков выработки 3 на 43 %, 4 на 53 % (рис. 3.5);

– параметры способа поддержания подготовительной выработки вне зоны влияния очистных работ: арочная крепь; один анкер ($l_a = 3$ м) в боку 3 (рис. 3.4 и 3.5) на высоте 2 м от почвы под углом 25...35° к горизонтали; второй анкер в боку 4 на высоте 3 м от почвы под углом 130...140° и третий в кровле со смещением от оси выработки в сторону падения на 0,5 м под углом 70...80°.

Целью второго этапа моделирования было определить наиболее рациональные мероприятия для обеспечения устойчивости подготовительных выработок при проходе лавы с целью повторного их использования. Моделировались те же горно-геологические условия, что и при первом этапе.

Для исследования были определены 2 основные ситуации (7 вариантов):

1. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью + дополнительно установлены: один анкер со стороны массива на высоте 2 м от почвы под углом 30° к горизонтали; второй анкер со стороны лавы на высоте 3 м от почвы под углом 135° и третий в кровле со смещением от оси выработки в сторону массива на 0,5 м под углом 75°, при проходе лавы. Длина анкеров – 3 м (рис. 3.7) (вар. 1).

2. Так как и в ситуации 1, только со стороны лавы установлено охранное ограждение из железобетонных плит шириной 0,5...3 м (рис. 3.8, 3.9) (вар. 2-7).

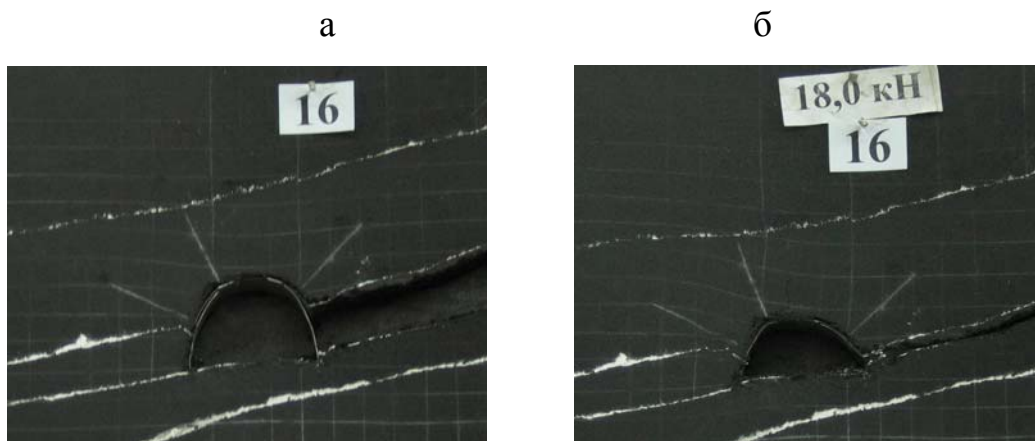


Рис. 3.7. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (вар. 1)

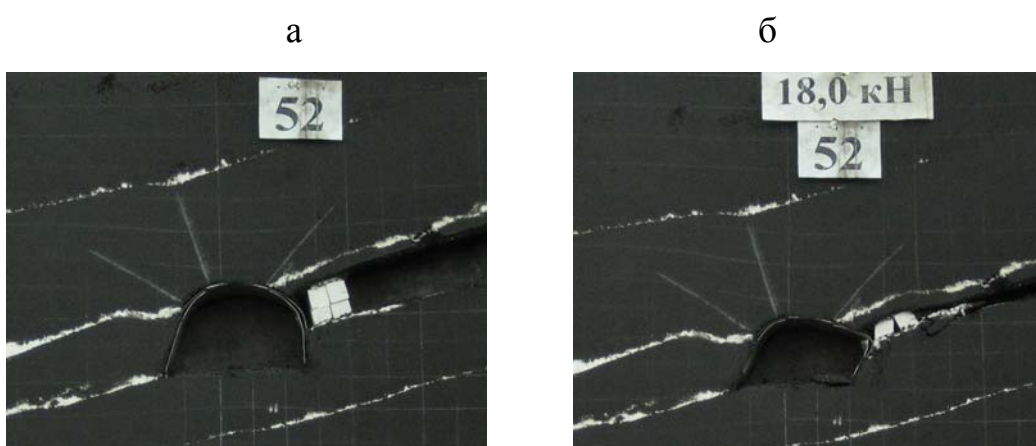


Рис. 3.8. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (вар. 3)

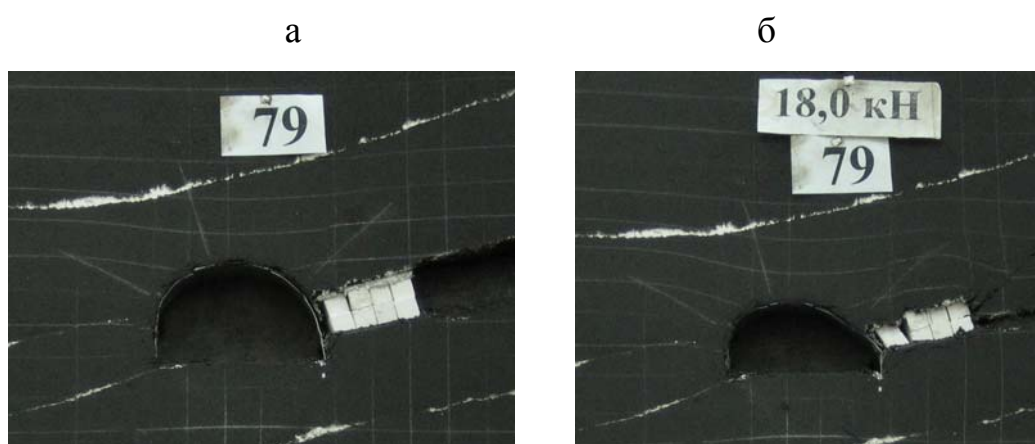


Рис. 3.9. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (вар. 6)

С учетом отладки процесса моделирования и числа, продублированных в соответствии с формулой (3.2) вариантов, испытано около 35 моделей.

По результатам исследования построена зависимость изменения величины горизонтальной и вертикальной конвергенции от варианта поддержания подготовительной выработки (рис. 3.10).

Анализ результатов моделирования позволил сделать следующие выводы:

– использование рамно-анкерной крепи (рис. 3.7, вар. 1) в подготовительной выработке в зоне влияния очистных работ не позволяет сохранить ее эксплуатационное состояние;

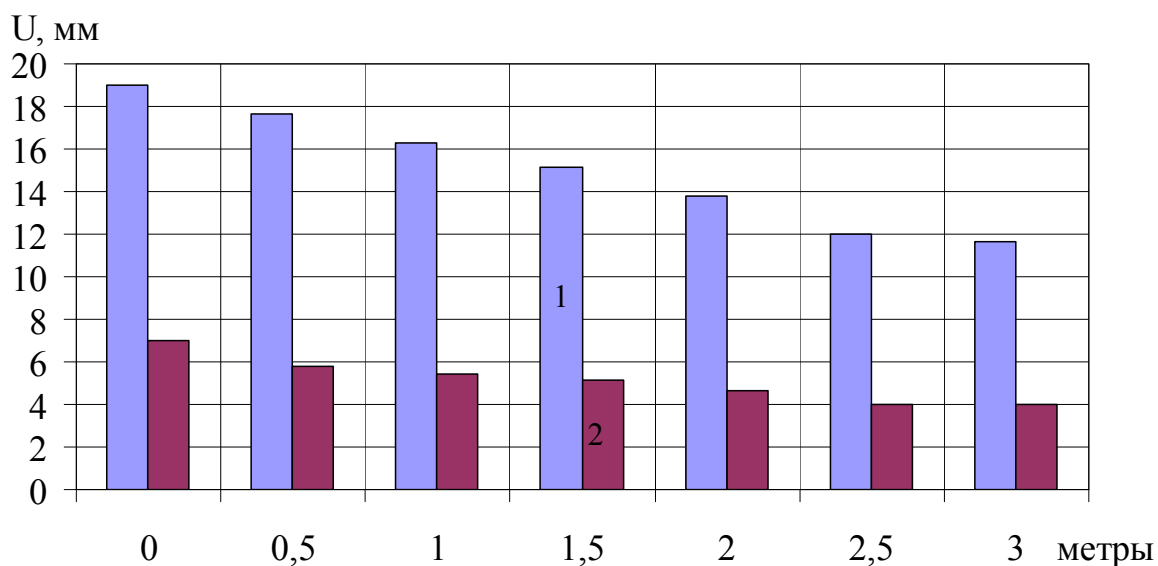


Рис. 3.10. Зависимость изменения величины горизонтальной 1 и вертикальной 2 конвергенции от ширины охранной конструкции

– из рис. 3.10 видно, что наибольшие изменения величины горизонтальной и вертикальной конвергенции наблюдаются в варианте 1, наименьшие – варианты 6 и 7. Использование ограждения из железобетонных плит приводит к повышению ее устойчивости;

– из рис. 3.10 видно, что увеличение размеров жесткого ограждения в раскосах (вар. 6 и 7) не приводит к значительному улучшению геомеханической

ситуации вокруг подготовительной выработки, поэтому принят как наиболее рациональный способ поддержания подготовительной выработки в условиях шахты “Шахтерская-Глубокая” вариант б;

– при размерах жесткого ограждения более 2,5 м в кровле лавы наблюдается трещинообразование (рис. 3.9);

– при размерах жесткого ограждения до 1,5 м наблюдается поднятие почвы в выработке в 2 раза больше по сравнению с остальными вариантами;

– параметры способа поддержания подготовительной выработки: арочная податливая крепь + дополнительно установлены: один анкер ($l_a = 3$ м) со стороны массива на высоте 2 м от почвы под углом 30° к горизонтали; второй анкер со стороны лавы на высоте 3 м от почвы под углом 135° и третий в кровле со смещением от оси выработки в сторону массива на 0,5 м под углом 75° , со стороны лавы в раскоске установлено ограждение шириной 2,5 м из железобетонных плит.

ГЛАВА 4

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИКОНТУРНОГО ПОРОДНОГО МАССИВА ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

Для создания эффективных способов поддержания и охраны подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ должны быть установлены закономерности геомеханических процессов, протекающих в районе выемочных штреков.

Решение задачи о напряженно-деформированном состоянии породного массива в окрестности подготовительной выработки может быть получено путем применения методов механики сплошной среды, механики дискретной среды, на основе экспериментально-аналитических методов, использующих закономерности, полученные экспериментальным путем в сочетании с аналитическими решениями. Выбор расчетного метода определяется принятой гипотезой горного давления и соответствующей моделью среды.

4.1. Гипотезы формирования горного давления вблизи подготовительных выработок

В последние годы получило распространение значительное число гипотез, пытающихся не только объяснить механизм деформации вмещающих выработку пласта угля и пород, но и дать методику расчета величин нагрузок и смещений в выработке и вблизи нее. Принятие той или иной гипотезы может иметь принципиальное значение с точки зрения прогнозирования величин смещений контура выемочных выработок и выбора способа и средств их охраны и поддержания. Большинство из методов расчета величин деформации выработок посвящено условиям разработки пластов в Донбассе.

Методы прогнозирования величин деформаций выработок непосредственно связаны с принятием в качестве рабочей той или иной гипотезы горного давления. В связи с этим рассмотрим существующие гипотезы горного давления с точки зрения их применимости для понимания процесса деформации массива в условиях реальных способов охраны.

Гипотезы пластичной и упруго-пластичной среды приведены в работах А.Н. Динника [47], Р. Феннера [48], К.В. Руппенейта [49], Ю.М. Либермана [50], Ю.З. Заславского [51]. Ж.С. Ержановым [52] и Ю.А. Векслером [53] развиты положения гипотезы наследственной ползучести. Эти авторы рассматривают процессы деформирования массива главным образом вокруг капитальных выработок вне зоны опорного горного давления, причем внешние условия принимаются ими статическими или заданными в определенной, условной динамике.

Для решения задачи охраны выработок важными являются гипотезы, охватывающие процессы формирования горного давления не только вблизи выработки, но и в толще массива на удалении от нее, в том числе до земной поверхности.

Гипотеза свода, разработанная М.М. Протождяконовым [54], неприменима для больших глубин, хотя для понимания процесса формирования давления в зоне вокруг выработки сохраняет свое значение.

Гипотеза сползающих призм, предложенная П.М. Цимбаревичем [55], может применяться лишь при рассмотрении процессов сдвижения, на небольшом удалении от пласта угля при слабых и достаточно однородных породах кровли.

Важные стороны сложного процесса деформирования толщи пород рассматривают гипотезы сыпучей и трещиноватой среды [56], а также гипотеза плит, разработанная В.Д. Слесаревым [57].

Гипотезы свода, плит, балок, сползающих призм и т.д. рассматривают массив в статическом состоянии, а механизм формирования давления предельно упрощают. При этом объем массива, учитываемый такой гипотезой, как пра-

вило, ограничен. Это приводит, применительно к большим глубинам разработки в одних случаях (гипотеза свода) к сильно заниженным расчетным величинам давления в районе выработки, в других (гипотеза призм) – завышенным. Особенностью процесса перераспределения горного давления на большой глубине является уменьшение роли таких локальных проявлений, как, например, свод естественного равновесия. Вместо свода с обрушенными породами на большой глубине образуется зона растяжения.

Реальный горный массив не является только упругим, пластическим, сыпучим, трещиноватым, состоящим из плит и т.д. Толща пород одновременно или в определенной последовательности проявляет все указанные свойства. До настоящего времени отсутствует обобщающая гипотеза горного давления и соответствующий описывающий ее аппарат.

Получение замкнутых математических решений для такого сложного объекта, каким является подготовительная выработка, находящаяся в породном массиве с неоднородной структурой, невозможно в принципе. Единственный путь, ведущий к эффективному решению поставленной задачи, заключается в разработке и исследовании компьютерных моделей на основе какого-либо хорошо разработанного численного метода. Разнообразные приложения численных исследований при разработке угольных пластов подземным способом приведены в книгах Н.А. Жданкина [58], Л.В. Новиковой [59] и др.

4.2. Анализ численных методов исследования напряженно-деформируемого состояния породного массива

В данной работе, для решения поставленных задач использовались численные методы механики деформируемого твердого тела. Они обладают наибольшей общностью при описании механических процессов в породных массивах и конструкциях, так как свободны от влияния частных факторов, отражающих специфику горнотехнической ситуации. Численные методы позволяют исследовать механические процессы в более широком диапазоне, т.е. дают воз-

возможность не только качественно, но и количественно прогнозировать проявление горного давления.

Среди численных методов решения задач механики сплошной среды можно отметить метод конечных элементов, метод граничных элементов, метод сеток, метод дискретных элементов и прямые методы математической физики.

Цырульниковым М.Н. использован довольно простой для численной реализации метод (метод Галеркина), в котором компоненты напряжений и перемещений представляются в виде двойных сумм тригонометрических и экспоненциальных функций [60]. Однако в этой работе рассматривается только однородный массив.

Использование метода конечных разностей в явной форме для решения задач геомеханики выполнено Синелайром Т.С. и др. [61], а метод собственных деформаций описан Такато С. и др. [62]. Эверлинг Г. [63] предложен метод сетчатой модели для исследования картины распределения напряжений в массиве горных пород, вызванных ведением горных работ.

Основные положения метода граничных элементов (МГЭ) изложены в [64]. Этот метод используется в работах Векслера Ю.А., Колоколова С.Б., Жданкина Н.А. [65, 66], Петухова И.М., Зубкова В.В. [67], Новиковой Л.В. [68], Сдвижковой Е.А. и др. [69 и др.].

Теоретические аспекты метода конечных элементов (МКЭ) сформулированы в работах Розина Л.А. [70, 71], Зенкевича О. [72], Сегерлинда Л. [73], Стренга Г. и Фикса Дж. [74], Деклу Ж. [75], а применение его к решению задач механики горных пород подробно описано в работах Амусина Б.З., Фадеева А.Б. [76, 77], Ержанова Ж.С. и Каримбаева Т.Д. [78]. Обширный перечень работ, в которых используются идеи МКЭ, содержится в работе [79].

Применительно к данным исследованиям наиболее эффективен метод конечных элементов, поскольку он позволяет легко моделировать самые различные неоднородности среды: слоистость, трещиноватость, анизотропию свойств пород, явления фильтрации [75]. Разработаны специальные приемы для моделирования взаимодействия крепи выработки с окружающим массивом [80].

Сколько угодно сложный вырез в полуплоскости, а также конечное число таких вырезов, не являются препятствием к применению метода. Так, получение решения о распределения напряжений в целиках и потолочинах при камерной системе разработки не представляет сложности. Моделирование обрушенных пород также легко осуществимо в рамках метода. Следует только обосновано выбрать условные «упругие» характеристики обрушенных неуплотненных пород на основе дополнительных исследований.

Аппарат МКЭ применим не только к решению двумерных (плоских) задач теории упругости. Пространственная область массива также может быть аппроксимирована конечными элементами, но уже не треугольными, а, например, тетраэдрическими.

Отметим также возможность получения МКЭ решений в нелинейной постановке, т.е. в предположении, что среда деформируется неупруго, допускает пластические деформации или хрупкое разрушение. Используя вычислительные возможности метода, нелинейное решение получают как последовательность упругих решений.

Наиболее важными преимуществами метода конечных элементов, благодаря которым он широко используется, являются следующие:

1. Свойства материалов смежных элементов не должны быть обязательно одинаковыми. Это позволяет применять метод к телам, составленным из нескольких материалов.

2. Криволинейная область может быть аппроксимирована с помощью прямолинейных элементов или описана точно с помощью криволинейных элементов. Таким образом, методом можно пользоваться не только для областей с «хорошей» формой границы.

3. Размеры элементов могут быть переменными. Это позволяет укрупнить или измельчить сеть разбиения области на элементы, если в этом есть необходимость.

4. С помощью метода конечных элементов не представляет труда рассмотрение граничных условий с разрывной поверхностной нагрузкой, а также смешанных граничных условий.

В результате приведенного анализа применяемых методов исследования НДС горного массива можно сделать вывод о целесообразности применения для расчета напряженно-деформированного состояния массива в окрестности подготовительной выработки, сопряженной с лавой, метода конечных элементов.

4.3. Определение шага обрушения основной кровли в лаве

Опыт работы горных предприятий показывает, что поддержание выработок в зоне влияния очистных работ – сложная, трудоемкая и дорогостоящая задача. Сочетание большого количества влияющих факторов (взаимное влияние очистной и подготовительной выработки, угол наклона пласта, структурные особенности горных пород в пределах отрабатываемого участка, порядок отработки месторождения и т.п.) определяют те трудности, которые связаны с прогнозом проявления горного давления в лаве и обеспечением эксплуатационной устойчивости выработок в зоне влияния очистных работ.

В работе [81] исследовано изменение напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестности очистной выработки, связанные с постоянным подвиганием очистного забоя. На основе расчетной схемы, представляющей собой среднее сечение лавы, нагруженное равномерно распределенной нагрузкой от веса вышележащих слоев, методом конечных элементов последовательно выполнялся ряд расчетов, в каждом из которых моделировалась очистная выработка различных размеров. Пошаговым увеличением размеров обнажения моделировался отход лавы от обрушенной части пород. На каждом шаге решения определялись компоненты напряжений, деформаций и переме-

щений в рассматриваемой упругой плоскости, ослабленной вырезом различных размеров.

По аналогии с работами [82, 83] о качественных изменениях, происходящих в массиве, предлагается судить по размерам так называемых «условных» зон разрушения. Под этим термином понимается совокупность точек массива, в которых напряженное состояние достигает некоторого предельного уровня, определяемого той или иной теорией прочности. Для горных пород, неодинаково сопротивляющихся растяжению и сжатию, в работе [84] предложен феноменологический критерий прочности:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 - R_c^2 \psi - (1 - \psi) R_c (\sigma_1 + \sigma_2) = 0, \quad (4.1)$$

где σ_1, σ_3 – соответственно наибольшее и наименьшее главные напряжения, $\psi = R_p / R_c$ (R_p – предел прочности пород на одноосное растяжение, R_c – предел прочности на одноосное сжатие).

Таким образом, по методике, предложенной в [81] на каждом этапе решения в каждом конечном элементе, на которые разбита исследуемая область, проверяется условие (4.1). При его выполнении в некоторой области массива, предполагается, что породы, заключенные в этой области, переходят в новое качественное состояние, отличное от упругого, допускающее необратимые деформации, разрыхление и расслоение материала.

Расчеты по изложенной методике выполнялись для условий шахты «Шахтерская-Глубокая» методом конечных элементов по алгоритму, разработанному на кафедре строительства и геомеханики НГУ.

Расчетная схема (рис. 4.1) включает слои различной жесткости (согласно стратиграфической колонке рис. 2.1), зону обрушенных пород и очистную выработку, размеры которой последовательно увеличивались в течение 10 этапов расчета.

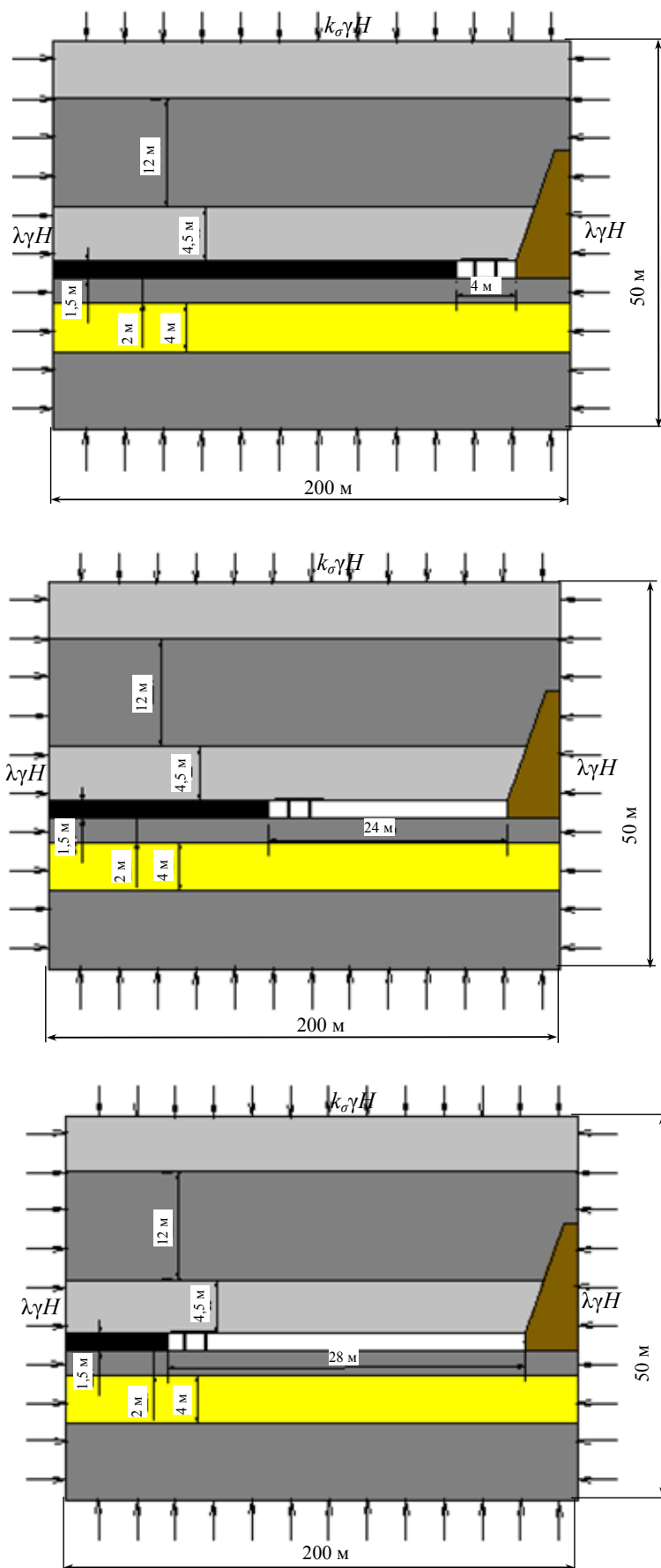


Рис. 4.1. Расчетные схема к оценке напряженного состояния массива при развитии очистных работ

По верхней границе области приложена нагрузка интенсивностью

$$q = k_{\sigma} \gamma H,$$

где k_{σ} – коэффициент учитывает тот факт, что плоские сечения лавы перпендикулярны к очистному забою, находятся в различных условиях, испытывая влияние сопряжения с выемочным штреком.

В строгой постановке исследование процессов, происходящих в окрестности сопряжения очистной и подготовительной выработок, требуют решения задачи в трехмерной постановке.

В данном случае можно воспользоваться приемом, предложенном в работе [80], т.е. искусственно “заглубить” сечение лавы, соответственно той концентрации вертикальных напряжений, которые получены другими авторами при решении трехмерных задач теории упругости. По аналогии с работой [80] коэффициент пригрузки k_{σ} принят равным 1,3.

Зона обрушенных пород, в рамках метода конечных элементов, моделируется путем введения для группы элементов некоторого “условного” модуля упругости, характеризующего способность обрушенных пород частично воспринимать нагрузку от вышележащих слоев. Анализ полных диаграмм сжатия некоторых осадочных пород, полученных на прессах повышенной жесткости, показывает, что при деформировании образцов на уровне остаточной прочности соотношение между напряжением и деформацией можно охарактеризовать величиной

$$E_p = \frac{\sigma_{ост}}{\varepsilon_{ост}},$$

где $\sigma_{ост}, \varepsilon_{ост}$ – соответственно предел остаточной прочности и соответствующий ему уровень деформации. С достаточной для численного моделирования

точностью выполняется соотношение $E_p = 10^{-2} E$, где E – модуль упругости породы, что и использовалось для имитации области разрушенных пород.

Основной механической характеристикой, которая входит в выражение (4.1), является прочность пород на одноосное сжатие, которая определяется по стандартным методикам в полевых или лабораторных условиях. Однако многочисленные исследования показывают, что при испытании образцов не воспроизводятся те структурные особенности, которые свойственны породному массиву в целом. Отличие прочности породного массива R_c от средней прочности образцов \bar{R} оценивается коэффициентом структурного ослабления k_c , равным отношению прочности пород в массиве к средней прочности лабораторных образцов:

$$k_c = \frac{R_c}{\bar{R}}. \quad (4.2)$$

В работе [84] величина k_c определена на основе статистической теории прочности в предположении, что прочность образцов пород, как структурных элементов массива, случайная величина, которая подчиняется тому или иному закону распределения вероятностей, и приводится ряд аргументов в пользу гипотезы о логарифмически нормальном распределении прочности элементов, в соответствии с которой коэффициент структурного ослабления определяется зависимостью:

$$k_c = \frac{\exp(\arg\Phi(1-p) \cdot \sqrt{\ln(\eta^2 + 1)})}{\sqrt{\eta^2 + 1}}.$$

Здесь η – относительная вариация прочности лабораторных образцов, p – вероятность, с которой определяется величина структурного ослабления (уровень значимости объекта, принимаемый в практических расчетах равным 0,95),

$\arg\Phi(1-p)$ – аргумент функции $\Phi(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ при ее значении, равном $1-p$.

Таким образом, в формуле (4.1) должно фигурировать расчетное значение прочности: $R_c = k_c \bar{R}$.

Анализ напряженного состояния пород в исследуемой области в соответствии с критерием (4.1) показал, что по мере увеличения размеров обнажения обширная зона разрушения формируется как в кровле над выработанным пространством, так и в почве очистной выработки. В кровле над выработанным пространством имеют место растягивающие нормальные напряжения, причем совокупность точек, в которой растягивающие напряжения превосходят предел прочности на растяжение, представляет собой область параболического очертания (рис. 4.2). С увеличением размера очистной выработки условные зоны разрушения и область растягивающих напряжений становятся близки по форме и по размерам и охватывают всю область над выработанным пространством (рис. 4.3).

В работе [81] на основе сопоставления результатов компьютерного моделирования, натуральных данных и расчетов по гипотезе сводообразования высказано предположение, что обрушение пород кровли произойдет в момент, когда вес пород, заключенный в условной зоне разрушения превзойдет силы, удерживающие эту разрушенную часть массива.

Величина удерживающей силы определяется равенством:

$$F_y = R_p L,$$

где L – длина дуги кривой, вдоль которой нормальные напряжения превосходят предел прочности на растяжение.

Вес пород в условной зоне разрушения составит

$$P = \gamma S, \text{ т/м},$$

где S – площадь условной зоны разрушения.

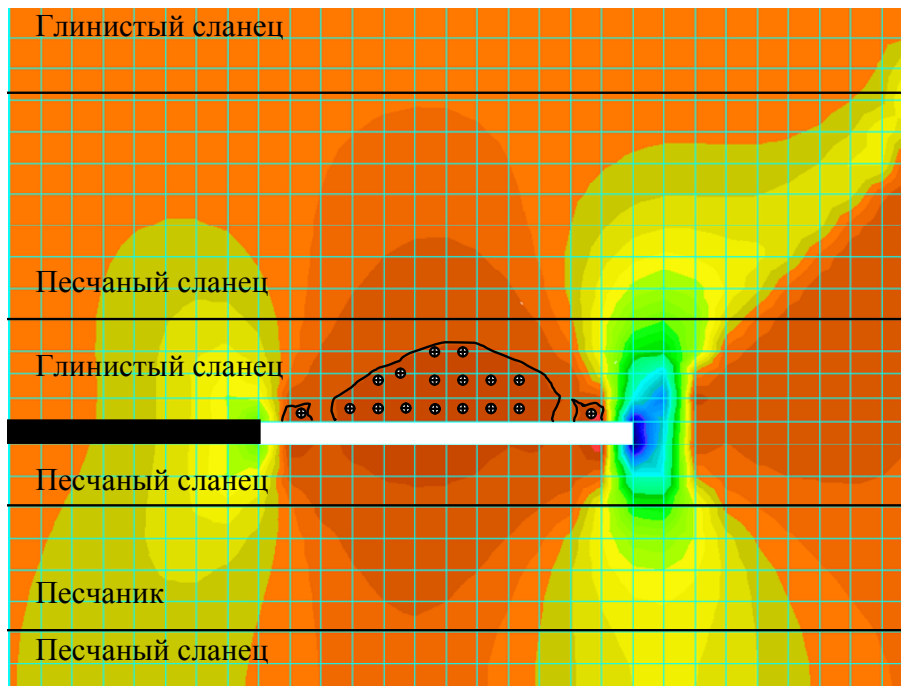


Рис. 4.2. Картина условной зоны разрушения кровли угольного пласта при обнажении на 24 м

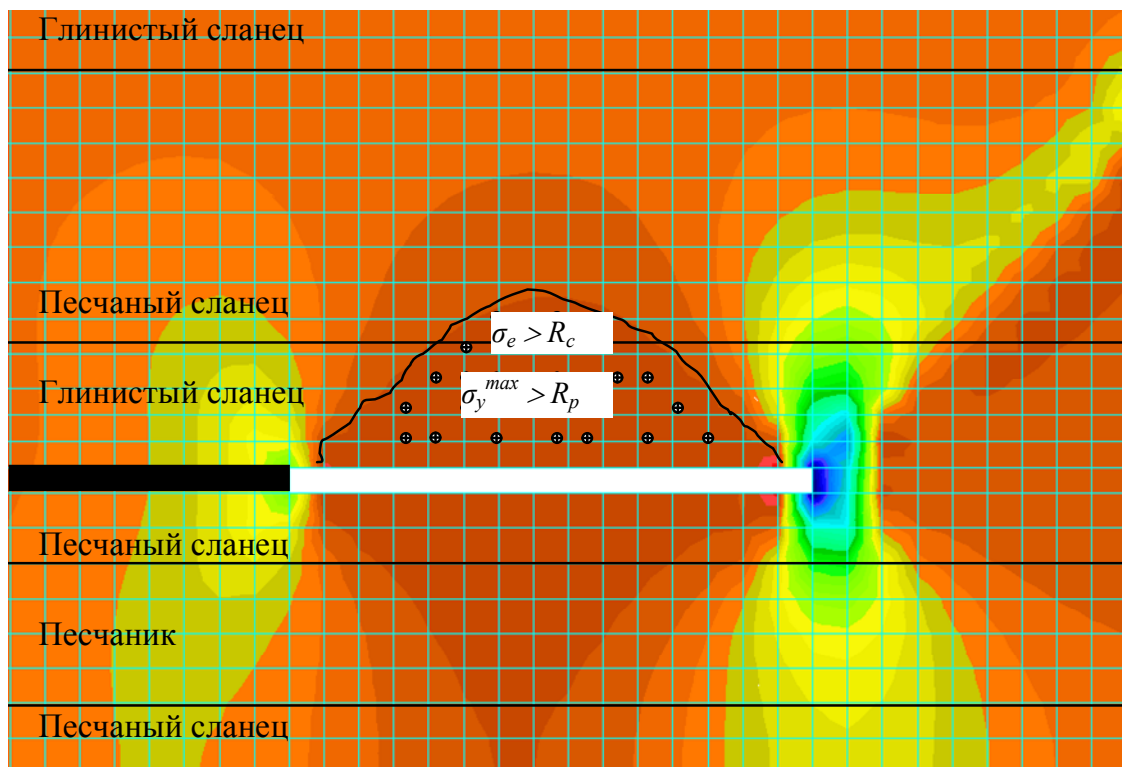


Рис. 4.3. Картина условной зоны разрушения кровли угольного пласта при обнажении на 28 м

Таким образом, на каждом i -м шаге решения, т.е. при моделировании i -го размера очистной полости, определялась площадь S_i области, в которой выполняется условие (4.1), и S_i – длина дуги кривой, ограничивающей область растягивающих напряжений. Условием обрушения пород на i -м шаге является равенство:

$$R_p L_i = \gamma S_i . \quad (4.3)$$

Согласно расчетам, выполненным для горно-геологических условий шахты «Шахтерская-Глубокая», равенство (4.3) выполняется при формировании очистной полости размером 24-28 м. Этот факт подтверждается данными натурных наблюдений (22-27 м).

Таким образом, зная установившийся шаг обрушения пород кровли в лаве, можно целенаправленно регулировать расстояние между печами – кратное 25 м, со смещением от места концентрации горного давления.

4.4. Разработка алгоритма аналитических исследований и обоснование расчетной схемы

Закономерности деформирования крепи горных выработок, изложенные в работе [85], в значительной мере отражают изменение их состояния по мере ведения горных работ. Однако, более полное представление о взаимодействии системы “крепь-охраный элемент-породный массив” можно получить, только рассмотрев напряженно-деформированное состояние породного массива в окрестности подготовительной выработки.

Математическая модель деформирования породной среды в окрестности местных нарушений сплошности должна отображать основные явления, возникающие вследствие концентрации напряжений и возможного сопутствующего изменения физико-механических свойств окружающего материала.

При решении задачи о НДС массива в окрестности подготовительной выработки также используется метод конечных элементов. Однако, в отличие от решения, приведенного в 4.3, исследования в окрестности сопряжения выработок рассматриваются на основе деформационной модели, более адекватной реальности.

Метод конечных элементов широко апробирован и для решения задач в нелинейной постановке. Его суть заключается в том, что исследуемая область Ω разбивается на множество подобластей (элементов) Ω^e . Внутри каждого элемента перемещения аппроксимируются некоторыми функциями, порядок которых зависит от числа узлов в элементе. В плоском 4-х узловом элементе перемещения задаются линейной функцией. Для каждого элемента можно сформировать локальную матрицу жесткости $[k]_e$, связывающую перемещения узлов $\{\delta\}_e$ и нагрузки, приложенные к узлам $\{F\}_e$. Элементы стыкуются по узлам.

Для линейных задач справедлив принцип суперпозиции. Из множества векторов $\{F\}_e$ и $\{\delta\}_e$ формируется обобщенный вектор сил $\{F\}$ и вектор перемещений узлов $\{U\}$, которые связаны между собой равенством:

$$\{F\} = K \{U\}.$$

Здесь K – обобщенная матрица жесткости системы, элементами которой являются матрицы жесткости каждого конечного элемента:

$$K = \begin{bmatrix} \sum_{e=1}^m k_{1,1}^{(e)} & \sum_{e=1}^m k_{1,2}^{(e)} & \dots & \sum_{e=1}^m k_{1,j}^{(e)} & \dots & \sum_{e=1}^m k_{1,2n}^{(e)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{e=1}^m k_{i,1}^{(e)} & \sum_{e=1}^m k_{i,2}^{(e)} & \dots & \sum_{e=1}^m k_{i,j}^{(e)} & \dots & \sum_{e=1}^m k_{i,2n}^{(e)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{e=1}^m k_{2n,1}^{(e)} & \sum_{e=1}^m k_{2n,2}^{(e)} & \dots & \sum_{e=1}^m k_{2n,j}^{(e)} & \dots & \sum_{e=1}^m k_{2n,2n}^{(e)} \end{bmatrix}.$$

Принцип ее построения подробно приводится в [78, 80].

Определив в результате решения сформированной системы уравнений для каждого узла компоненты вектора перемещений, через координатную матрицу B переходят к деформациям в центре тяжести конечного элемента $\{\varepsilon\}$, а от деформаций через матрицу упругости D к напряжениям $\{\sigma\}$

$$\{\varepsilon\} = B\{\delta\}_e,$$

$$\{\sigma\} = D\{\varepsilon\} = DB^T\{\delta\}_e,$$

$$\text{где } D = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & (1-2\nu)/2 \end{bmatrix};$$

$$B = \frac{2}{2S} \begin{bmatrix} b_r & 0 & b_s & 0 & b_t & 0 \\ 0 & c_r & 0 & c_s & 0 & c_t \\ c_r & b_r & c_s & b_s & c_t & b_t \end{bmatrix}.$$

$$\begin{aligned} \text{Здесь } a_r &= X_s Y_t - X_t Y_s, & b_r &= Y_s - Y_t, & c_r &= X_t - X_s. \\ a_s &= X_t Y_r - X_r Y_t, & b_s &= Y_t - Y_r, & c_s &= X_r - X_t. \\ a_t &= X_r Y_s - X_s Y_r, & b_t &= Y_r - Y_s, & c_t &= X_s - X_r. \end{aligned}$$

где $X_s, Y_s, X_t, Y_t, X_r, Y_r$ – координаты узлов элементов;

S – площадь треугольного элемента, определяемая следующей матрицей:

$$S = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & X_r & Y_r \\ 1 & X_s & Y_s \\ 1 & X_t & Y_t \end{bmatrix}.$$

Таким образом, поставленная задача решена. В центре каждого элемента получены значения полного тензора напряжений, деформаций и перемещений.

Смещения пород на контуре выработки связано с необратимыми деформациями, которые не могут быть исследованы в рамках модели упругой среды. Для отражения реальной картины разрыхления приконтурной зоны, перехода пород в этой области в стадию неупругого запредельного деформирования использован метод последовательных итераций. На первом этапе решения предполагается, что окружающий выработку массив является полностью упругим. Задаются его физико-механические параметры: модуль упругости E , коэффициент Пуассона μ , предел прочности на сжатие R_c , предел прочности на растяжение R_p . Решается линейная статическая задача теории упругости и определяется напряженно-деформированное состояние пород для данного этапа.

Найденное НДС используется в качестве «нулевого приближения» для определения границы области неупругих деформаций. Предполагая, что в этой области материал претерпевает изменения объема, будем называть эту часть приконтурного массива областью разрыхления. В качестве критерия перехода пород в запредельную стадию деформирования используется условие (4.1), которое можно записать в виде равенства

$$\sigma_e = R_c,$$

где σ_e – приведенные к одноосному напряженному состоянию так называемые «эквивалентные» напряжения. Из уравнения (4.1) их величина равна:

$$\sigma_e = \frac{(1 - \psi)(\sigma_1 + \sigma_3) + \sqrt{((1 - \psi)^2(\sigma_1 + \sigma_3)^2 + 4\psi(\sigma_1 - \sigma_3)^2)}}{2\psi}. \quad (4.4)$$

После того, как первое приближение к геометрическим параметрам области неупругих деформаций найдено, начинается итерационный процесс. Для элементов, в которых выполняется условие $\sigma_e > R_c$ изменяются свойства материала. Связь между напряжениями и деформациями в этой области носит нелинейный характер, определяемый запредельным участком полной диаграммы сжатия “ σ - ε ” образца породы. Для реализации упруго-пластической задачи используется метод переменных параметров упругости. Для выполнения этой вычислительной процедуры необходимо иметь экспериментальную кривую, связывающую напряжения σ_i и деформации ε_i . Связь между этими величинами записывается в виде

$$\{\varepsilon\} = D^{-1}\{\sigma\} = \frac{1}{E^1} \begin{bmatrix} 1 & -\nu^1 & -\nu^1 & 0 & 0 & 0 \\ -\nu^1 & 1 & -\nu^1 & 0 & 0 & 0 \\ -\nu^1 & \nu^1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1+\nu^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1+\nu^1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1+\nu^1 \end{bmatrix} \{\sigma\}.$$

Здесь D^{-1} – матрица податливости;

E^1 и ν^1 – условные параметры упругости, определяемые соотношениями:

$$E^1 = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \cdot \frac{3 \cdot \frac{\sigma}{\varepsilon}}{\frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} + 2 \cdot \frac{\sigma}{\varepsilon}},$$

$$\nu^1 = \frac{\frac{\sigma}{\varepsilon} - \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i}}{\frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} + 2 \cdot \frac{\sigma}{\varepsilon}},$$

$$2 \cdot G^1 = \frac{1}{\psi} = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} = \frac{E^1}{1 + \nu^1}.$$

Здесь $\bar{\sigma}$, $\bar{\varepsilon}$ – соответственно интенсивность напряжений и деформаций;

σ_i , ε_i – координаты точек, лежащих на экспериментальной кривой.

Если хотя бы в одном из элементов σ_e превышает предел прочности на сжатие, то расчет повторяется при новых (уточненных) значениях параметров упругости.

Для вычисленных значений σ_i и ε_i находят соответствующие значение σ_i^1 , лежащих на кривых деформирования. Последние используются для вычисления новых значений E^1 и ν^1 . Расчет продолжается до тех пор, пока расчетные значения σ_i^1 не “лягут” на кривые деформирования с заданной точностью.

Когда на некоторой итерации более не возникает новый (дополнительный) набор элементов, в которых эффективные напряжения превышают предел прочности на сжатие, процесс определения зоны разрыхления считается законченным.

Напряженно-деформированное состояние нелинейной среды может существенно зависеть от последовательности приложения заданной конечной нагрузки. Поэтому, гарантией получения правильного решения является введение в расчет соответствующей последовательности нагружения.

Первоначально к области прикладывается лишь некоторая часть (инкремент) расчетной нагрузки. Решается соответствующая линейная задача и определяется напряженно-деформированное состояние. Напряжения в элементах и перемещения узлов запоминаются. Затем прикладывается следующий инкремент нагрузки и определяется соответствующее ему напряженно-деформационное состояние. Напряжения в элементах и узловые перемещения суммируются. Если приращения нагрузок достаточно малы, то в пределах каждого приращения отклонение характеристик среды от линейной аппроксимации также мало. В данной работе принято 10 шагов нагружения.

На основании полученных результатов исследуется НДС горной породы в окрестности сопряжения подготовительной выработки арочной формы сечением $S_{св}=13,8 \text{ м}^2$ и очистной выработки. Расчетная схема приведена на рис. 4.4.

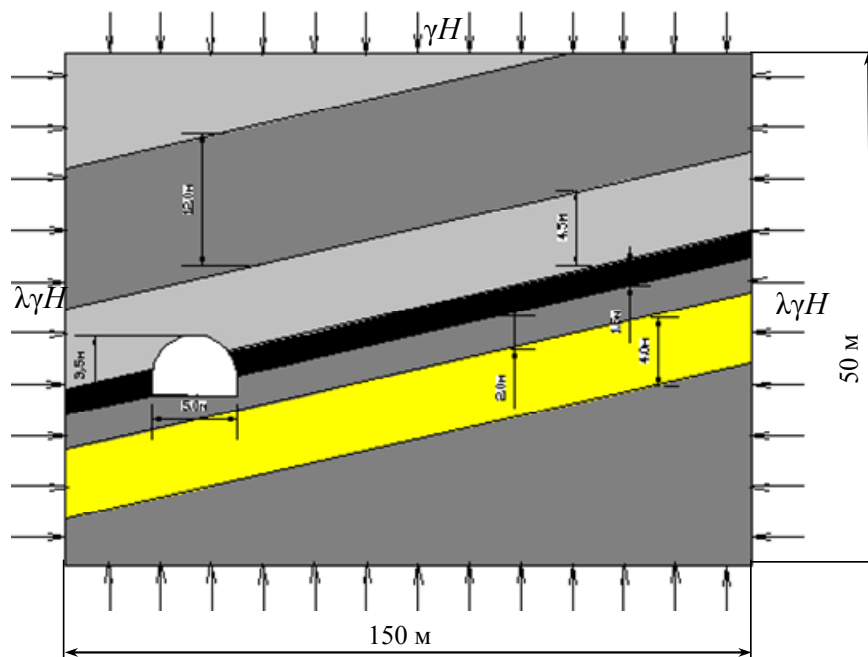


Рис. 4.4. Расчетная схема к решению задачи обоснования способа охраны и поддержания подготовительных выработок

Схема на рис. 4.4 является исходной. На ее основе формируется последовательность расчетных схем, в которые поэтапно вводятся элементы, моделирующие формирование очистного забоя, анкерную крепь, охранный элемент.

4.5. Исследование напряженно-деформированного состояния приконтурного массива подготовительных выработок в зоне и вне зоны влияния очистных работ и определение наиболее рациональных мероприятий по их охране и поддержанию

На первом этапе методом конечных элементов моделировалась подготовительная выработка вне зоны влияния очистных работ, с линейными размерами

ми: ширина – 5 м, высота – 3,5 м, мощность пласта – 1,5 м, расположена на глубине 1380 м, что соответствует горному давлению 34,5 МПа. Были рассмотрены 5 характерные ситуации (рис. 3.1):

1. Подготовительная выработка в массиве, закрепленная арочной податливой крепью. Расчетная схема на рис. 4.5.

2. Подготовительная выработка в массиве, закрепленная арочной податливой крепью и один анкер в боку со стороны восстания. Расчетная схема на рис. 4.6. Наличие анкера в породной среде моделировалось таким образом. Сначала решалась упругопластическая задача для выработки арочной формы без крепи. Для этого случая устанавливались радиальные перемещения вокруг выработки. Далее радиальные перемещения на расстоянии, которое равняется длине анкера – U_a , принималось постоянным по всей его длине до контура выработки, то есть до точки установки анкера. Анкер, т.е. стержень определенной длины и диаметром 2,4 см, моделировался специальным линейным стержневым элементом рис. 4.10. Модуль упругости и коэффициент Пуассона материала стержня приняты соответственно $E_{анк}=2 \cdot 10^6$ МПа и $\mu_{анк} = 0,35$.

3. Подготовительная выработка в массиве, закрепленная арочной податливой крепью и два анкера: один в боку со стороны восстания, второй в боку со стороны падения. Расчетная схема на рис. 4.7.

4. Подготовительная выработка в массиве, закрепленная арочной податливой крепью и три анкера: один в боку со стороны восстания, второй в боку со стороны падения и один в кровле. Расчетная схема на рис. 4.8.

5. Подготовительная выработка в массиве, закрепленная арочной податливой крепью и четыре анкера один в боку со стороны восстания, второй в боку со стороны падения и два в кровле. Расчетная схема на рис. 4.9. Конечно-элементная аппроксимация на рис. 4.10.

Как видно из рис. 4.10, для разбиения области применяются линейные четырехугольные плоские элементы. Различными цветами, в соответствии со стратиграфической колонкой, показана слоистость горного массива и анкеры.

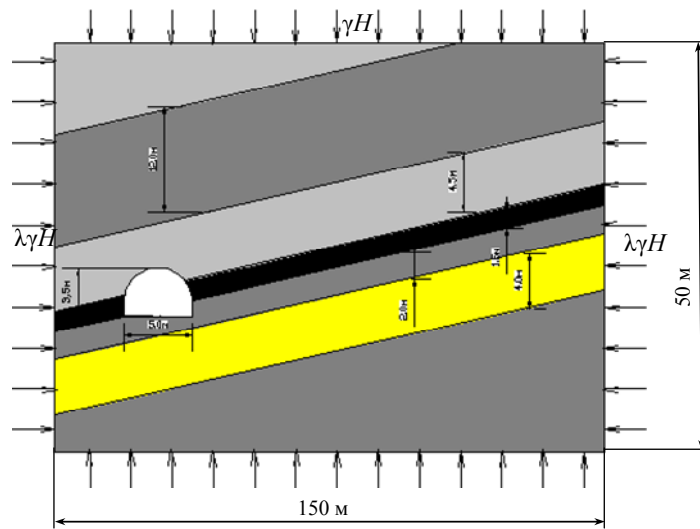


Рис. 4.5. Расчетная схема рассматриваемой задачи (ситуация 1)

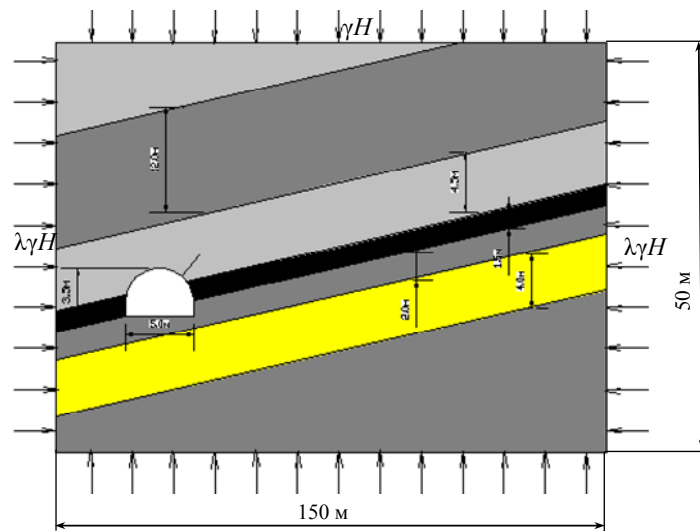


Рис. 4.6. Расчетная схема рассматриваемой задачи (ситуация 2)

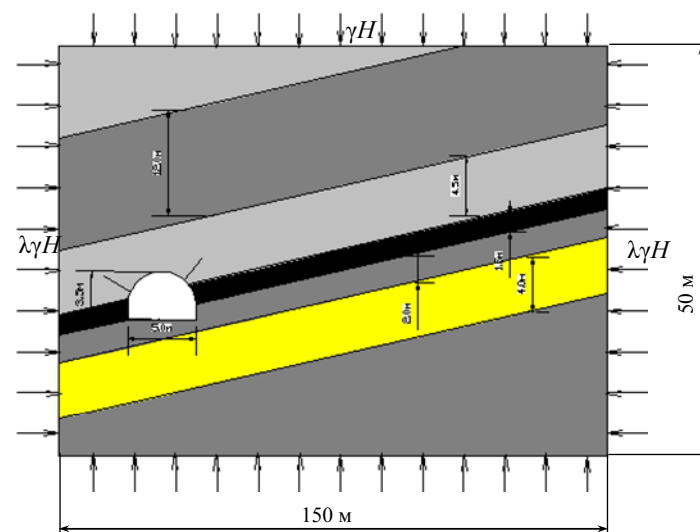


Рис. 4.7. Расчетная схема рассматриваемой задачи (ситуация 3)

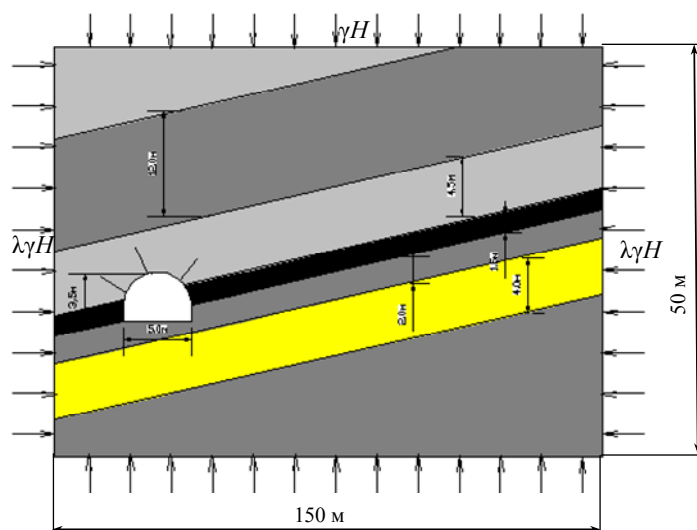


Рис. 4.8. Расчетная схема рассматриваемой задачи (ситуация 4)

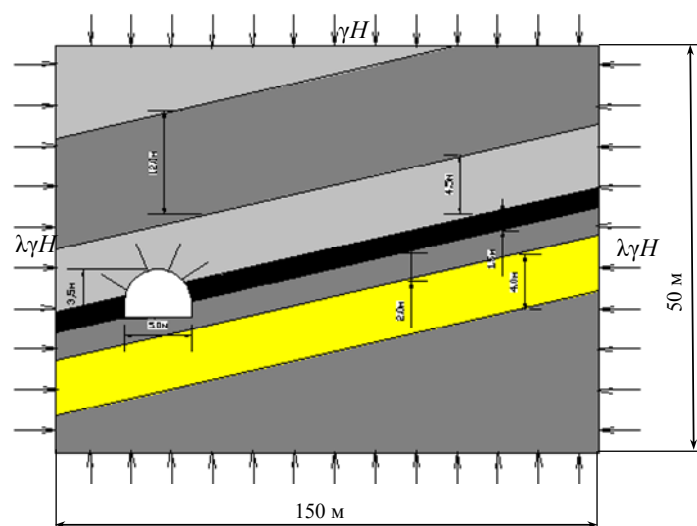


Рис. 4.9. Расчетная схема рассматриваемой задачи (ситуация 5)

На основе анализа компонентов тензора напряжений в центре и узлах конечных элементов выполнялась качественная и количественная оценка изменений, которые вносит в напряженное состояние приконтурного массива введение укрепляющих элементов (анкеров). Наиболее комплексную оценку этих изменений можно выполнить по картине распределения относительной величины σ_e/R_c в окрестности подготовительной выработки, которая приведена на рис. 4.11 и 4.12.

По результатам расчетов построена зависимость изменения величины σ_e/R_c в окрестности подготовительной выработки от рассматриваемой ситуации рис. 4.13.

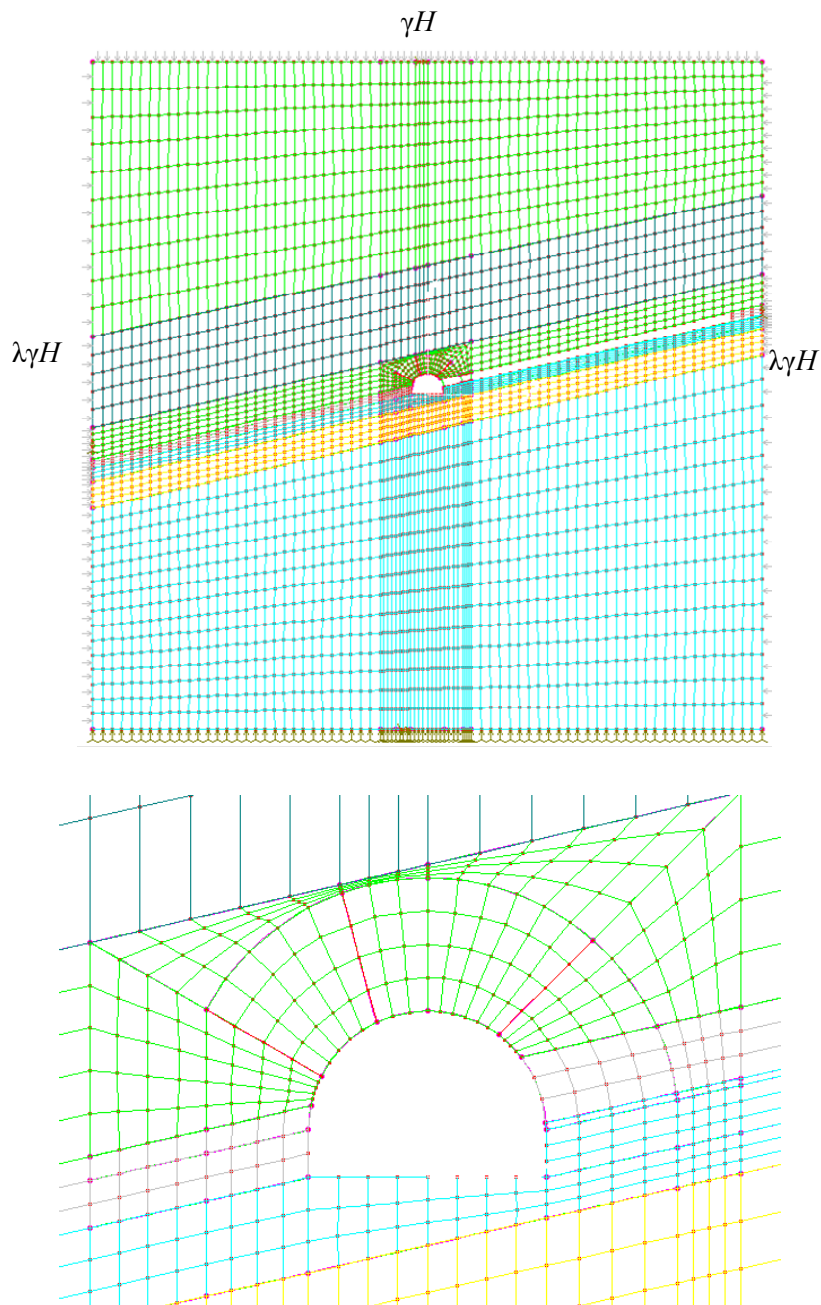


Рис. 4.10. Конечно-элементная аппроксимация расчетной схемы (ситуация 4)

Напряжения в кровле подготовительной выработки при различных ситуациях практически равны (рис. 4.13), наблюдается незначительное снижение их при увеличении количества анкеров.

На рис. 4.14 и 4.15 прилегающие к выработкам зоны разрыхления показаны синим цветом. Поскольку критерий разрыхления определен для конечного элемента в целом, границы зоны совпадают с границами соответствующих элементов. Ввиду некоторой грубости разбиения вдали от выработки границы зо-

ны недостаточно гладкие. Тем не менее, рис. 4.14 и 4.15 дают представление об общей форме и размерах области разрыхления.

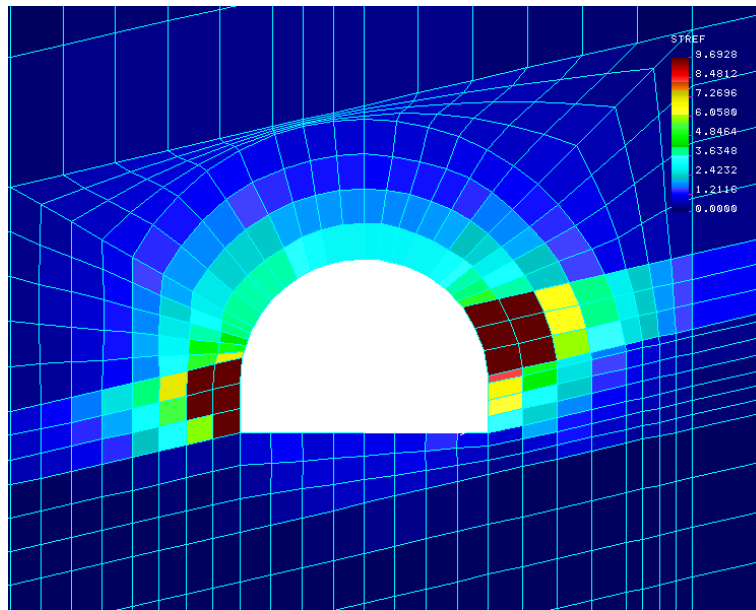


Рис. 4.11. Картина распределения величины σ_e/R_c в окрестности подготовительной выработки (ситуация 1)

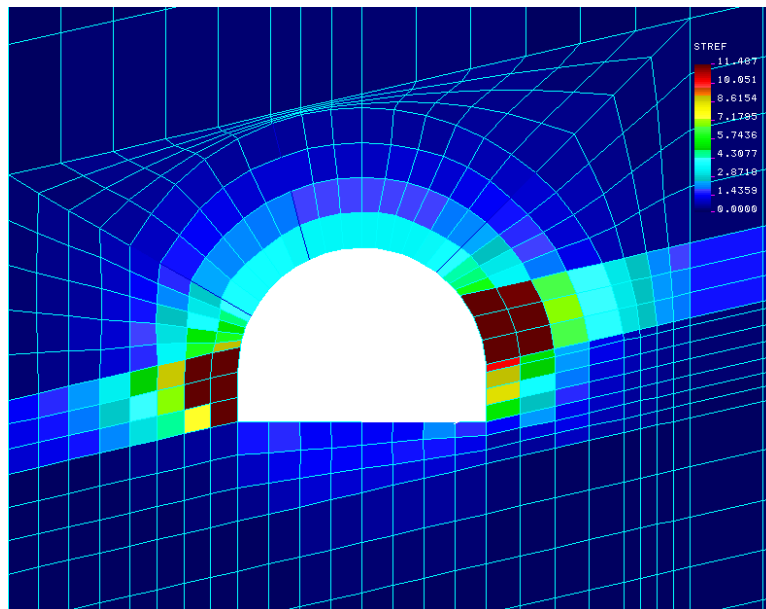


Рис. 4.12. Картина распределения величины σ_e/R_c в окрестности подготовительной выработки (ситуация 4)

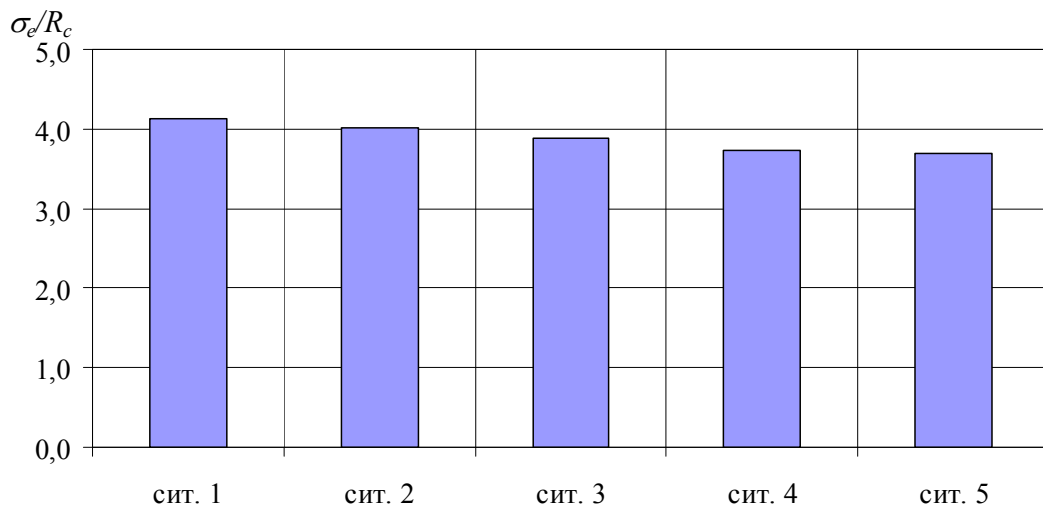


Рис. 4.13. Изменение величины σ_e/R_c в кровле подготовительной выработки в зависимости от рассматриваемой ситуации

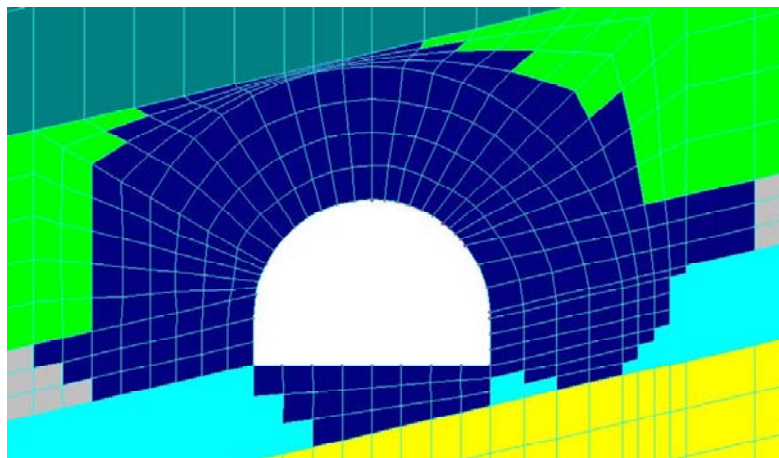


Рис. 4.14. Прилегающая к выработке зона разрыхления (ситуация 1)

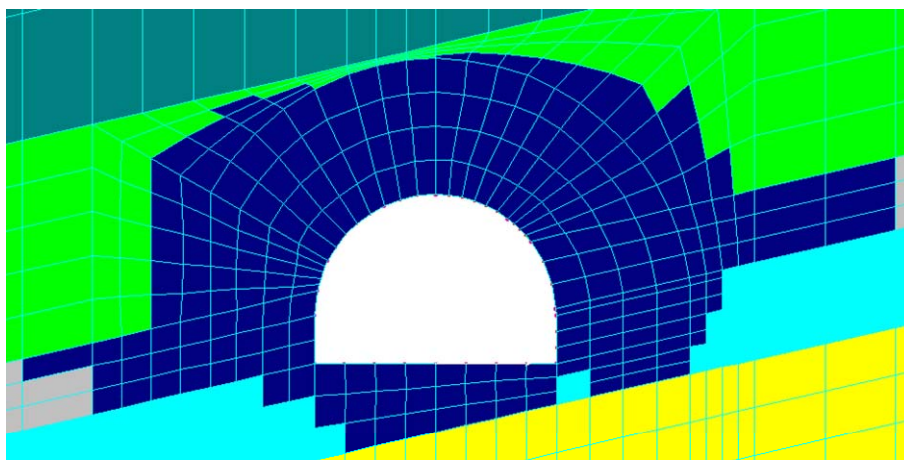


Рис. 4.15. Прилегающая к выработке зона разрыхления (ситуация 4)

Усредненные относительные радиусы разрыхления пород вокруг подготовительной выработки практически одинаковы и составляют: ситуация 1 – 2,45, ситуация 4 – 2,41. Установка анкеров не влияет на величину внешнего радиуса зоны разрыхления (рис. 4.14, 4.15).

На рис. 4.16 и 4.17 приведена картина неоднородности зон полных перемещений различного уровня в окрестности подготовительной выработки. Уровни перемещений (в метрах) даются на цветной шкале справа.

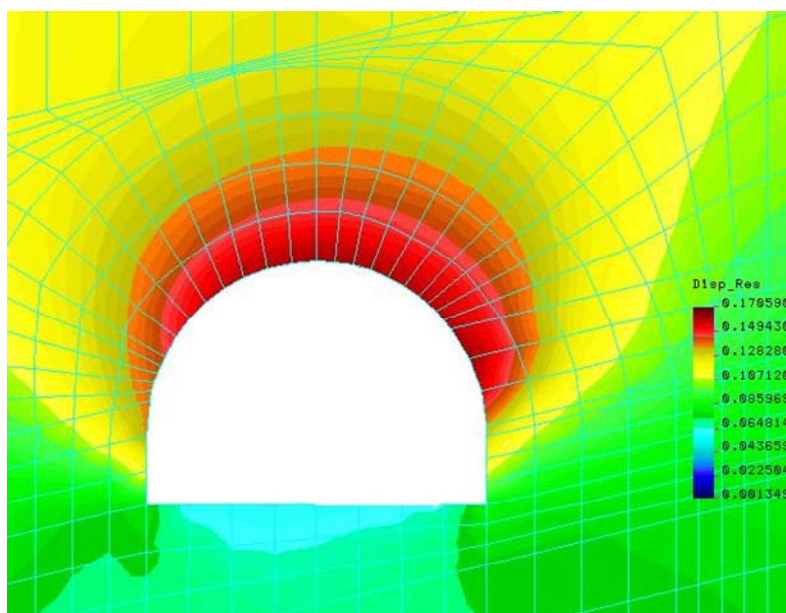


Рис. 4.16. Картина распределения полных перемещений (ситуация 1)

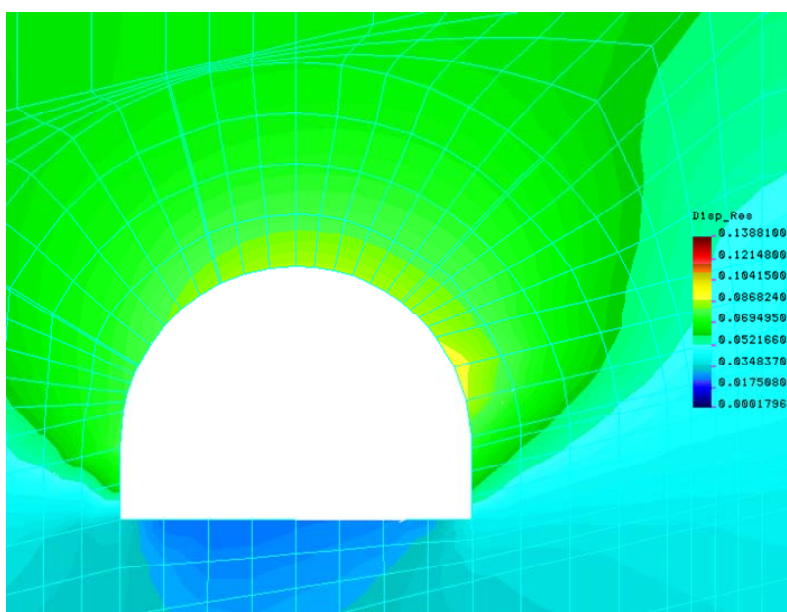


Рис. 4.17. Картина распределения полных перемещений (ситуация 4)

Использование рамно-анкерной крепи (сит. 4) по сравнению с рамной крепью (сит. 1) уменьшает смещения кровли на 46 %, почвы на 71 %, боков выработки на 40 % и 36 %.

Для определения параметров установки анкеров было исследовано более 20 моделей. Критерий оценки работоспособности анкеров – величина изменения вертикальной конвергенции в подготовительной выработке. Варьировались углы наклона анкеров к горизонту, места их установки и количество.

По результатам численных расчетов построены зависимости изменения смещений в подготовительной выработке в зависимости от рассматриваемой ситуации (рис. 4.18...4.20).

Из рис. 4.18, 4.19 видно, что увеличение количества анкеров до 4-5 (сит. 4 и 5) не приводит к значительному улучшению геомеханической ситуации вокруг подготовительной выработки, поэтому ситуация 4 принята как наиболее рациональный способ поддержания подготовительной выработки в условиях шахты “Шахтерская-Глубокая”. Достаточная длина анкера составила 3 м (рис. 4.19), что достаточно хорошо совпадает с результатами лабораторного моделирования.

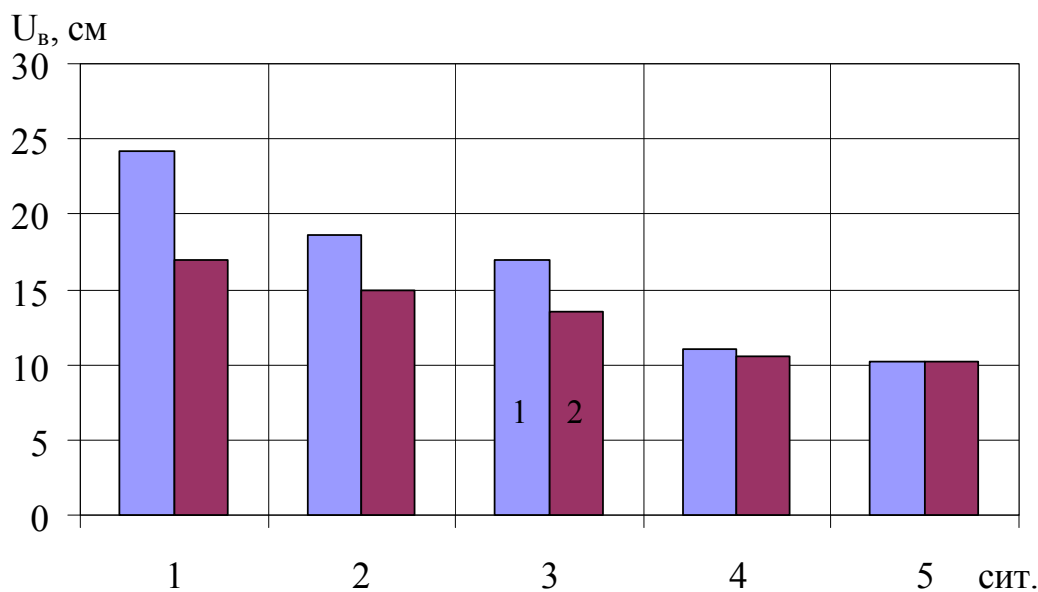


Рис. 4.18. Зависимость изменения вертикальной (1) и горизонтальной конвергенции (2) в подготовительной выработке в зависимости от рассматриваемой ситуации при длине анкера 3 м

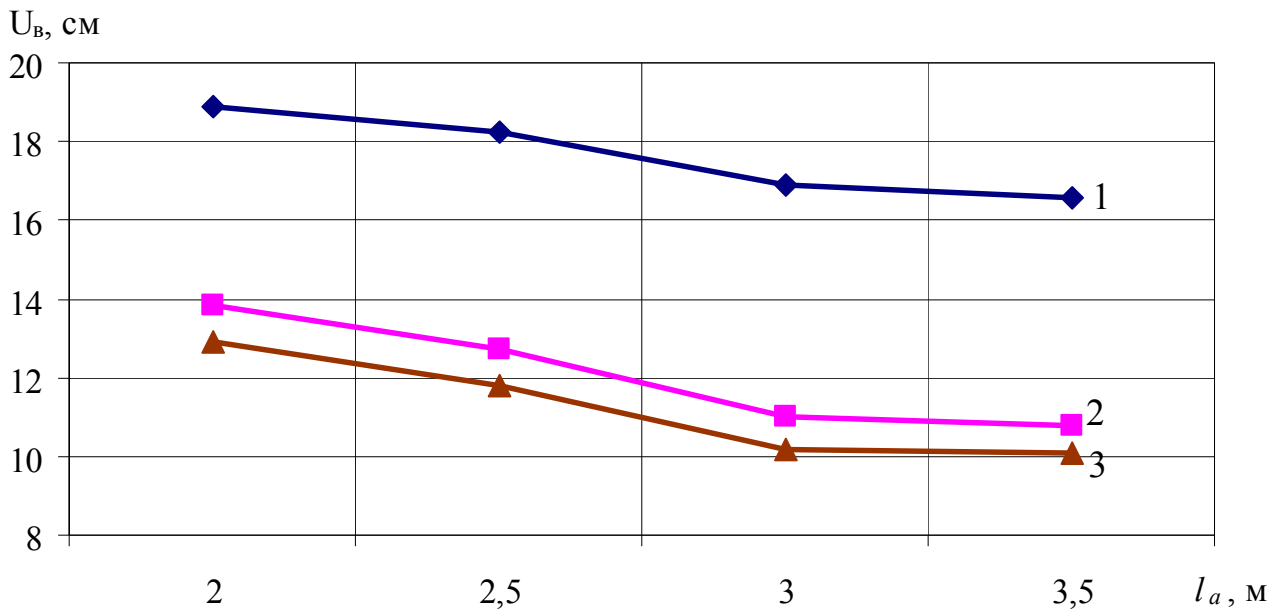


Рис. 4.19. Зависимость изменения вертикальной конвергенции в подготовительной выработке в зависимости от длины анкера (1 – сит. 3, 2 – сит. 4, 3 – сит. 5)

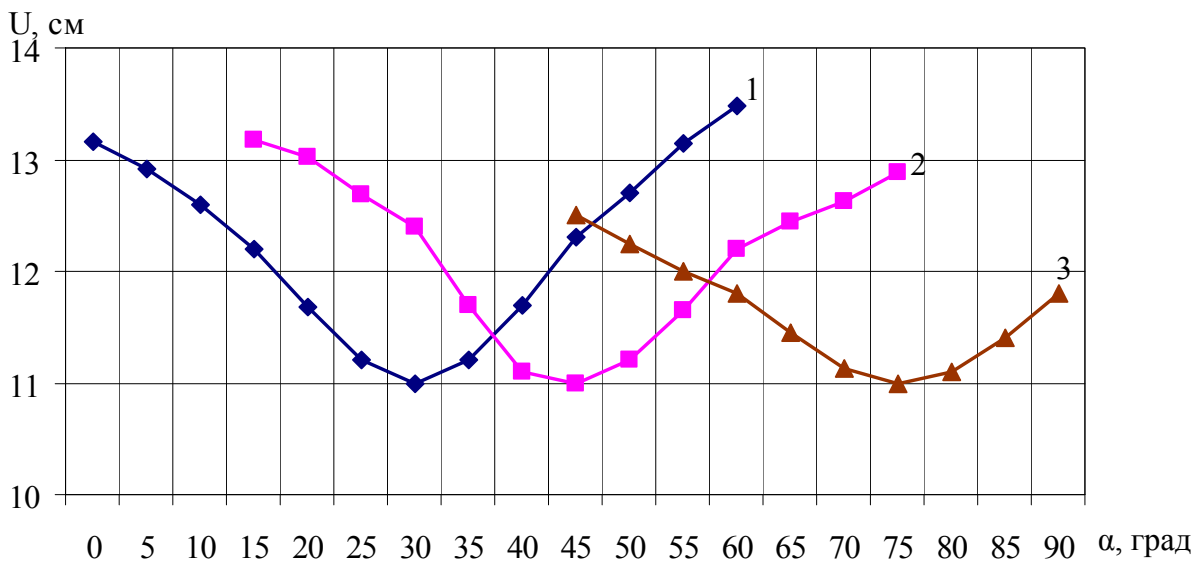


Рис. 4.20. Зависимость изменения смещений контура подготовительной выработки в зависимости от угла установки анкеров (сит. 4): 1 – со стороны падения, 2 – со стороны восстания, 3 – в кровле

Параметры способа поддержания подготовительной выработки вне зоны влияния лавы в условиях шахты “Шахтерская-Глубокая”: арочная крепь, один анкер (длиной 3 м) в боку со стороны падения на высоте 2 м от почвы под углом $25\dots35^\circ$ к горизонтали, второй анкер в боку со стороны восстания на высоте 3 м от почвы под углом $130\dots140^\circ$ и третий в кровле со смещением от оси выработки в сторону падения на 0,5 м под углом $70\dots80^\circ$ (рис. 4.18...4.20).

На втором этапе методом конечных элементов моделировалась подготовительная выработка в зоне влияния очистных работ, с теми же линейными размерами, что и на первом этапе. Для исследования были определены 2 основные ситуации (7 вариантов):

1. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью при проходе лавы (вар. 1) (рис. 4.21).

2. Так как и в ситуации 1, только со стороны лавы установлено охранное ограждение из железобетонных плит шириной $0,5\dots3$ м (вар. 2-7) (рис. 4.22...4.27).

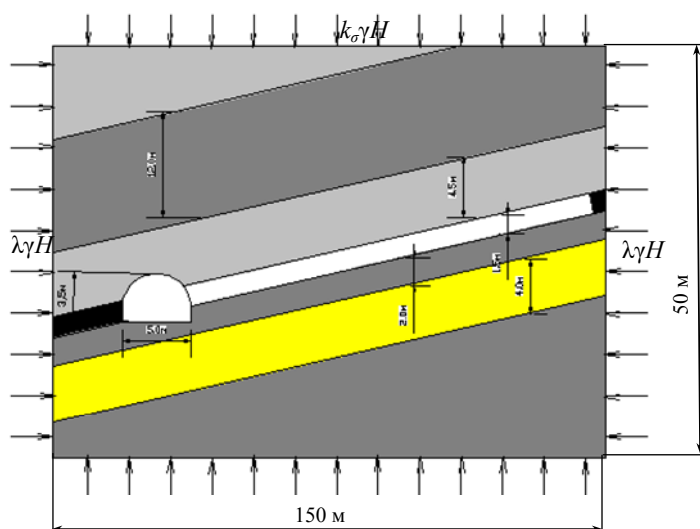


Рис. 4.21. Расчетная схема рассматриваемой задачи (вариант 1)

По результатам численных расчетов приведены распределения величины σ_c/R_c в окрестности подготовительной выработки (рис. 4.28 и 4.29), прилегающая к выработке зона разрыхления (рис. 4.30...4.32), распределения полных перемещений (рис. 4.33 и 4.34) и построены зависимости изменения смещений в подготовительной выработке в зависимости от рассматриваемых вариантов (рис. 4.35).

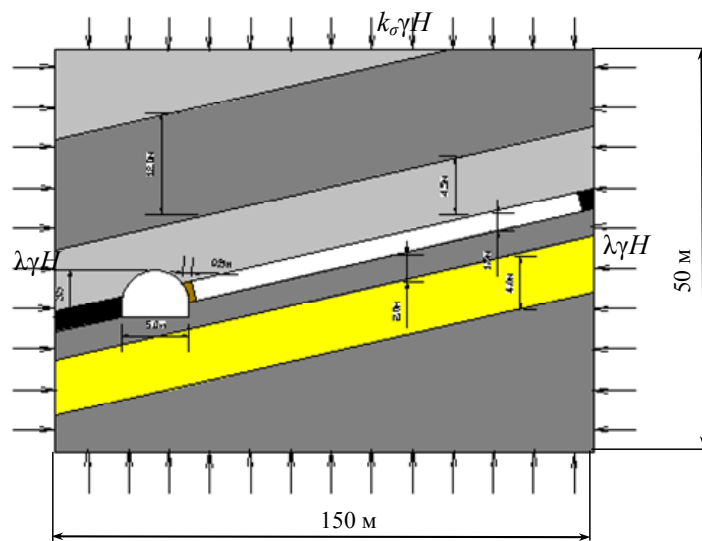


Рис. 4.22. Расчетная схема рассматриваемой задачи (вариант 2)

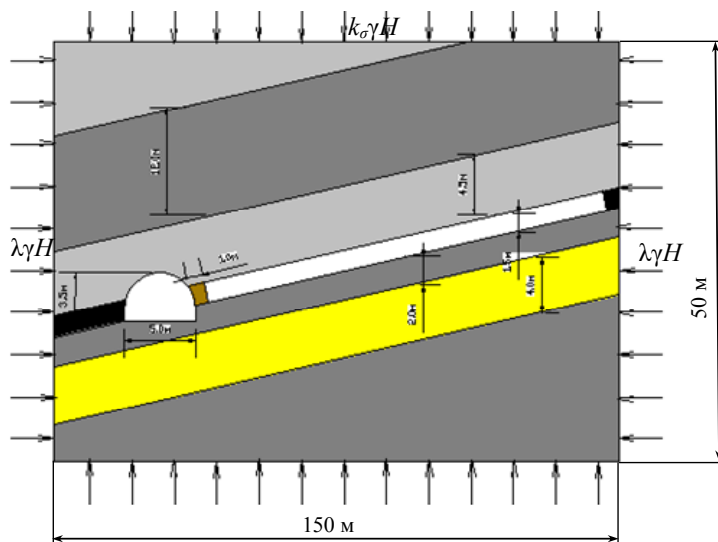


Рис. 4.23. Расчетная схема рассматриваемой задачи (вариант 3)

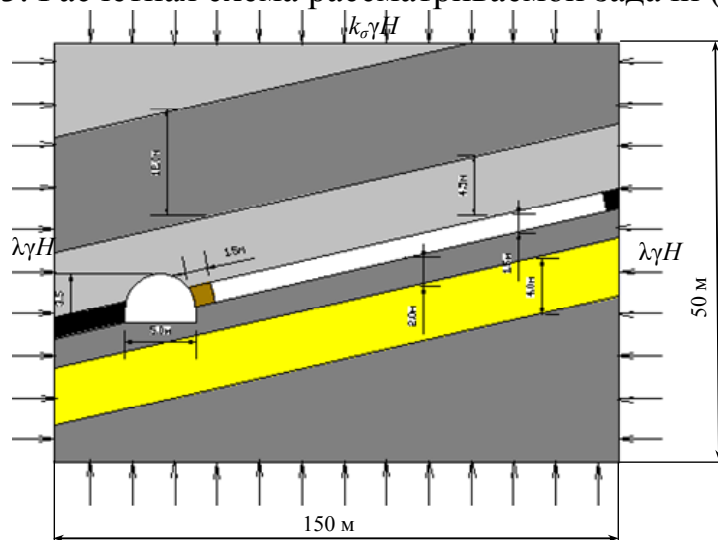


Рис. 4.24. Расчетная схема рассматриваемой задачи (вариант 4)

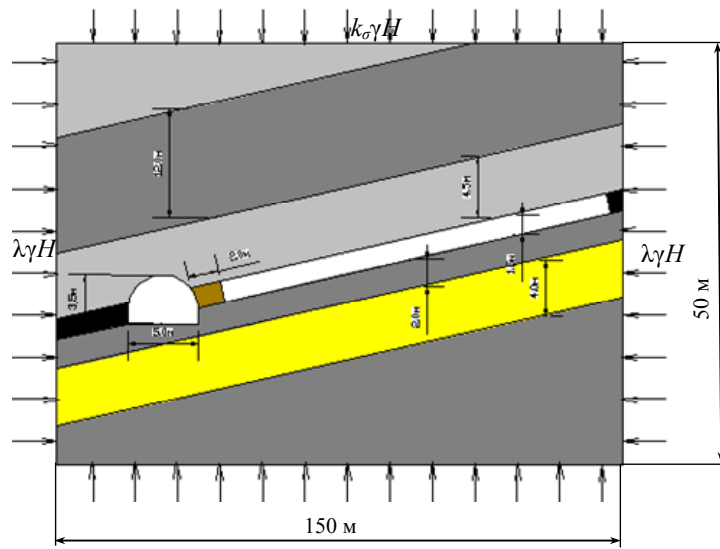


Рис. 4.25. Расчетная схема рассматриваемой задачи (вариант 5)

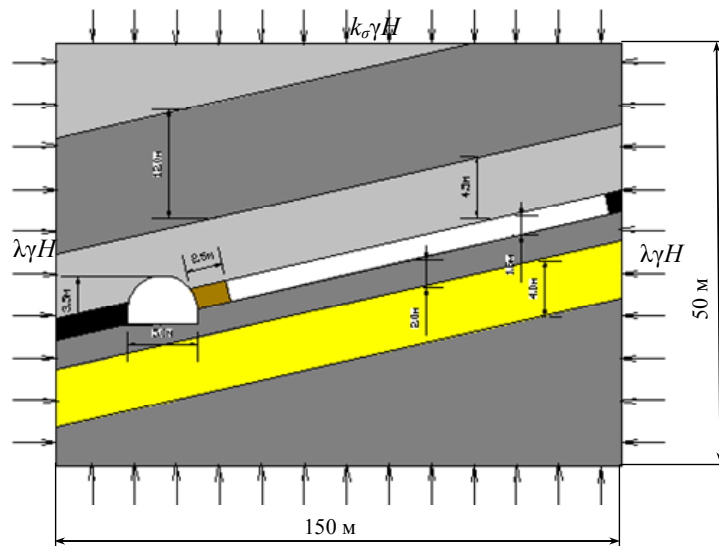


Рис. 4.26. Расчетная схема рассматриваемой задачи (вариант 6)

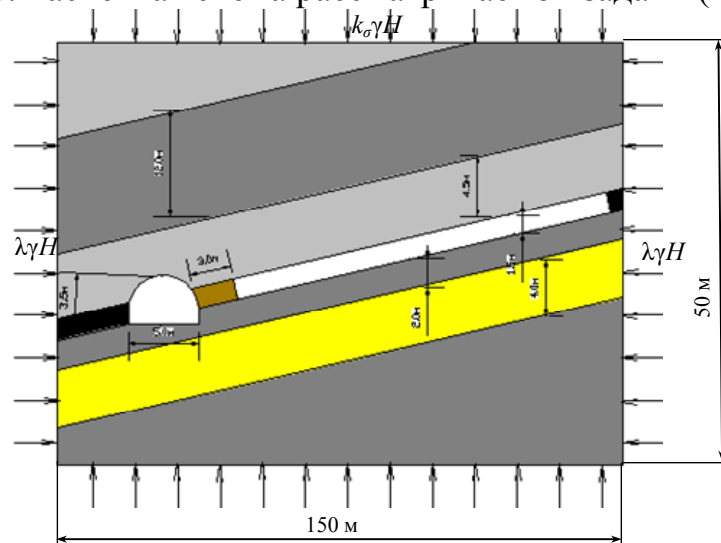


Рис. 4.27. Расчетная схема рассматриваемой задачи (вариант 7)

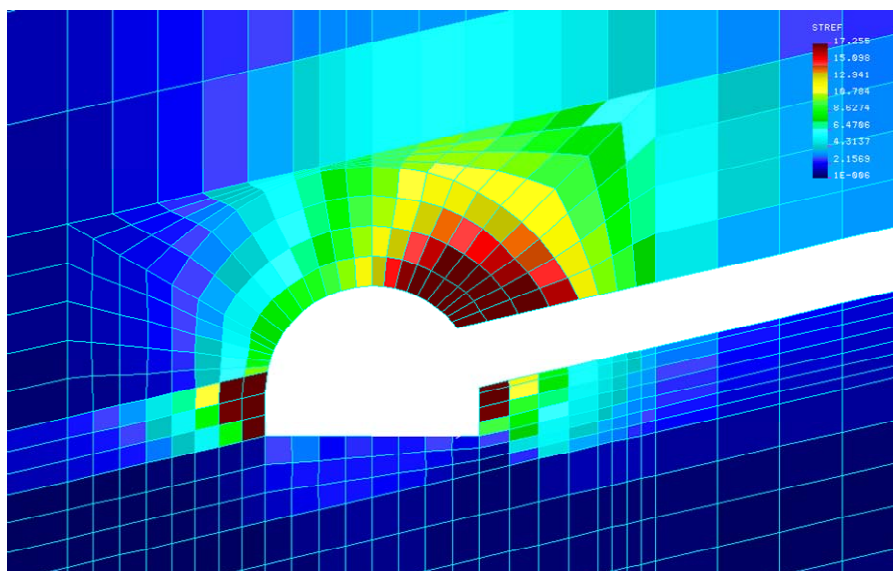


Рис. 4.28. Распределения величины σ_e/R_c в окрестности подготовительной выработки (вариант 1)

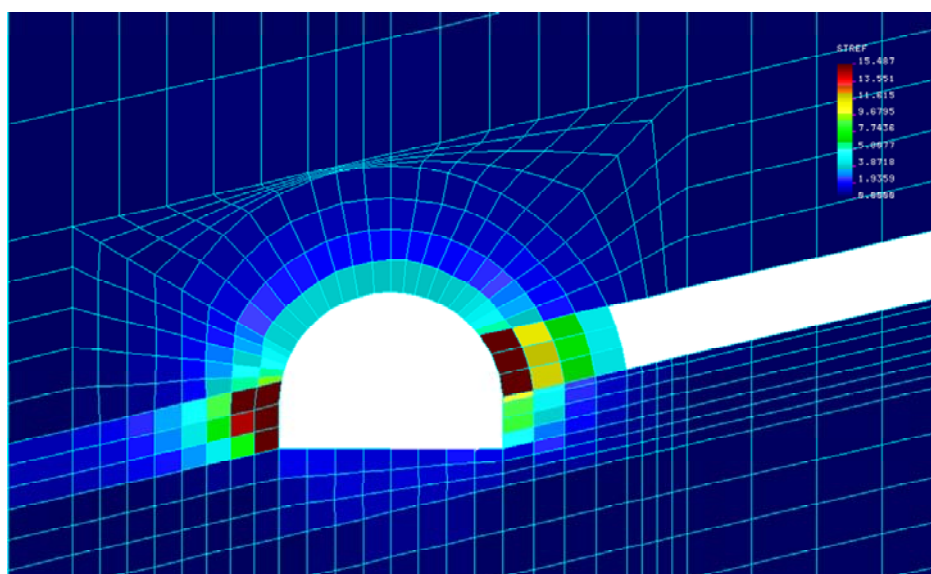


Рис. 4.29. Распределения величины σ_e/R_c в окрестности подготовительной выработки (вариант б)

Наличие очистной выработки приводит к значительному увеличению напряжений на контуре и сопряжении подготовительной выработки и очистного забоя (рис. 4.28), а наличие охранного элемента снижает эти напряжения практически в 3 раза (рис. 4.28, 4.29).

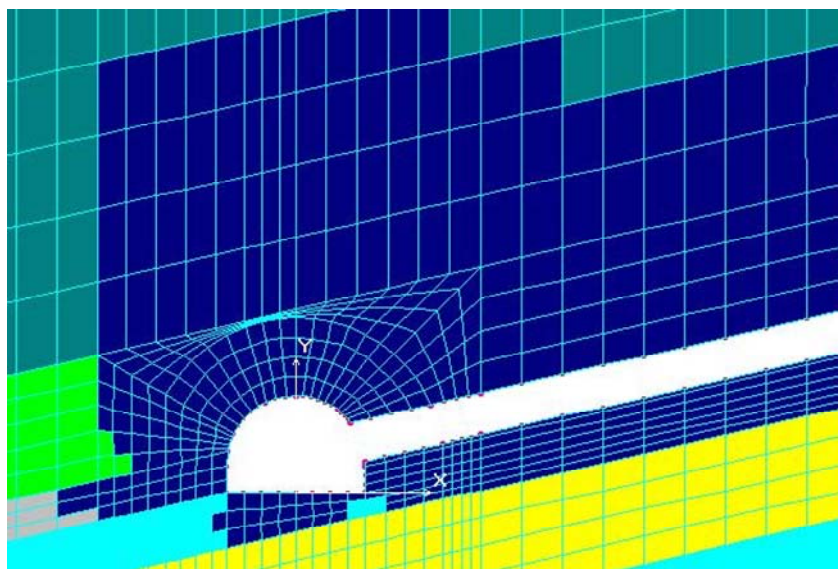


Рис. 4.30. Прилегающая к выработке зона разрыхления (вариант 1)

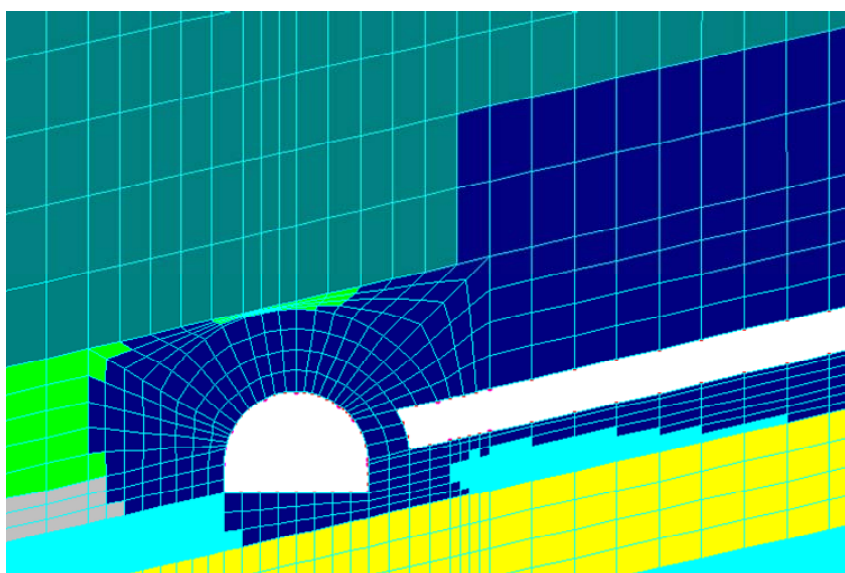


Рис. 4.31. Прилегающая к выработке зона разрыхления (вариант 4)

При наличии лавы относительный радиус разрыхления пород резко возрастает (рис. 4.30), а установка охранного элемента приводит к уменьшению зоны разрушенных пород над подготовительной выработкой практически в 3 раза (рис. 4.31, 4.32). Охранный элемент при ширине до 2 м разрушается, при большей – остается неразрушенным (рис. 4.31, 4.32).

Как видно из рис. 4.33 и 4.34, точка максимальных смещений пород кровли подготовительной выработки смещается от сопряжения к центру выработки и при наличии охранного элемента снижается практически вдвое (рис. 4.35).

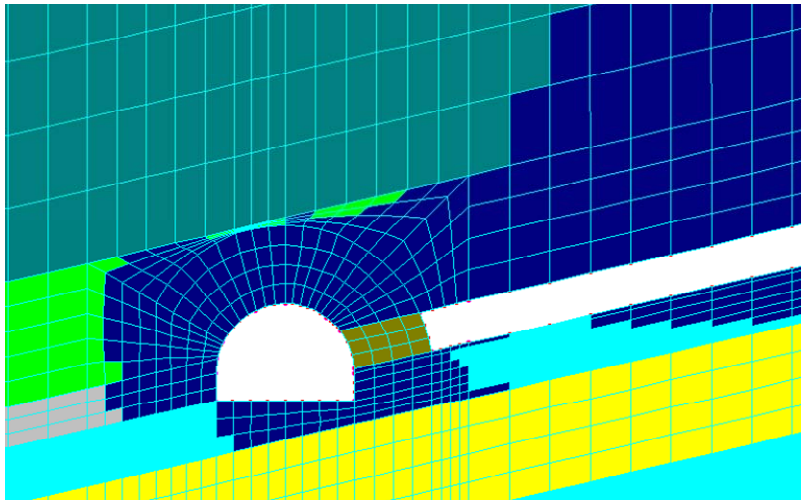


Рис. 4.32. Прилегающая к выработке зона разрыхления (вариант б)

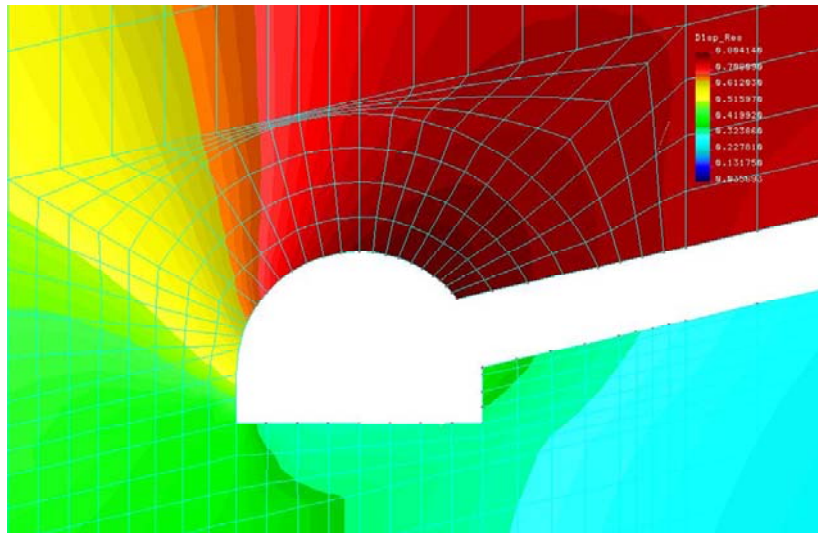


Рис. 4.33. Картина распределения полных перемещений (вариант 1)

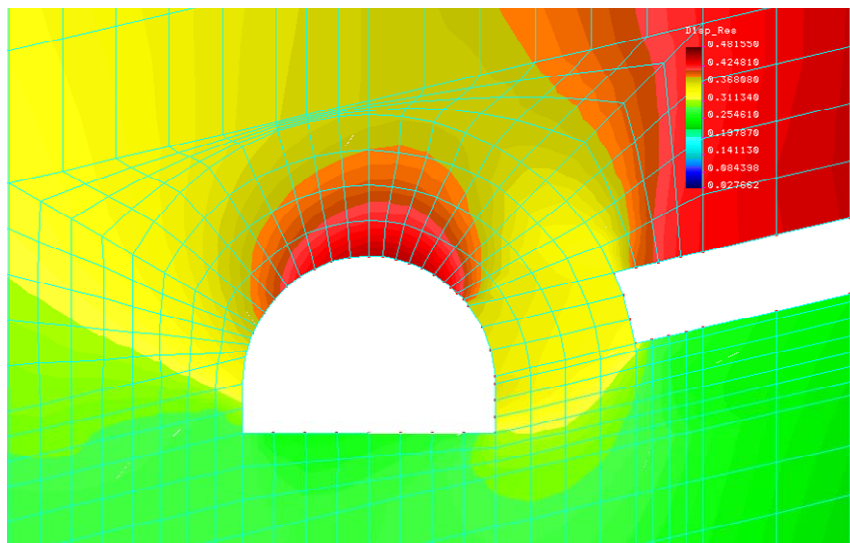


Рис. 4.34. Картина распределения полных перемещений (вариант б)

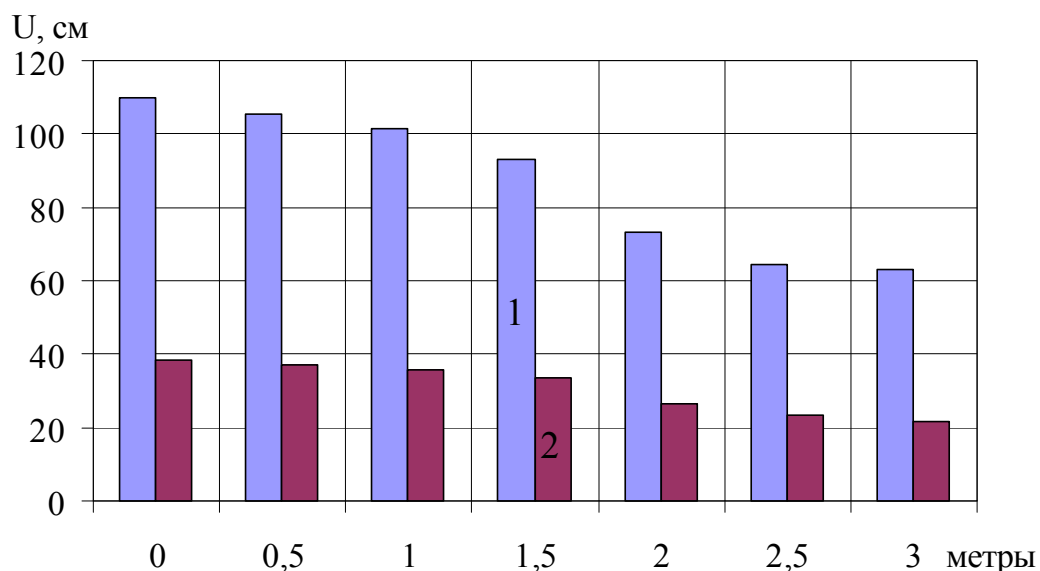


Рис. 4.35. Зависимость изменения вертикальной (1) и горизонтальной (2) конвергенции в подготовительной выработке в зависимости от ширины охранной конструкции

Анализ рис. 4.28...4.35 показывает, что при ширине охранной конструкции более чем 2,5 м изменения величин конвергенций незначительны, поэтому наиболее рациональным способом охраны и поддержания подготовительных выработок в зоне влияния лавы для данных условий является вариант 6.

При выполнении всех мероприятий по охране и поддержанию подготовительной выработки, предложенных в настоящей работе, совмещению способов вне зоны (ситуация 4) и в зоне влияния лавы (вариант 6) (рис. 4.36), приведет к уменьшению величин смещений вертикальной (с 109 см до 55 см) и горизонтальной (с 38,5 см до 17,7 см) конвергенций (рис. 4.37) и улучшению геомеханической ситуации вокруг выработки и сопряжения (рис.4.38). При этом смещении кровли составят 33,8 см, а почвы – 21,2 см, что дает возможность говорить о безремонтном поддержании выработки [86] и, в дальнейшем, ее использовании повторно.

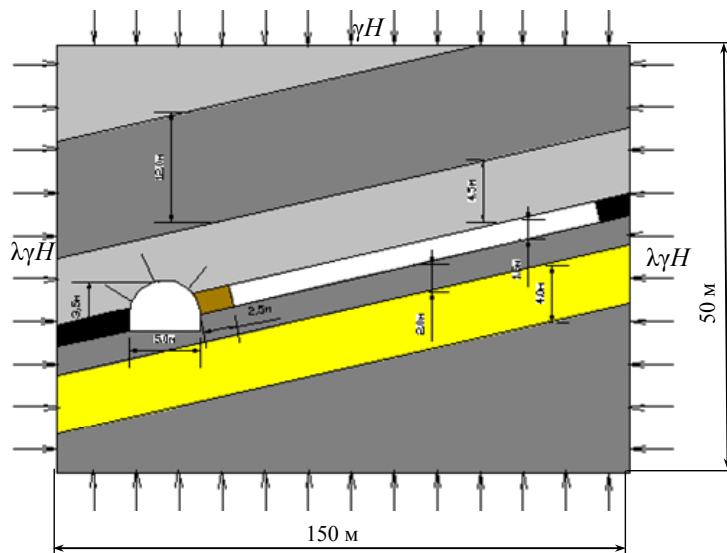


Рис. 4.36. Расчетная схема к решению задачи обоснования нового способа охраны и поддержания подготовительных выработок

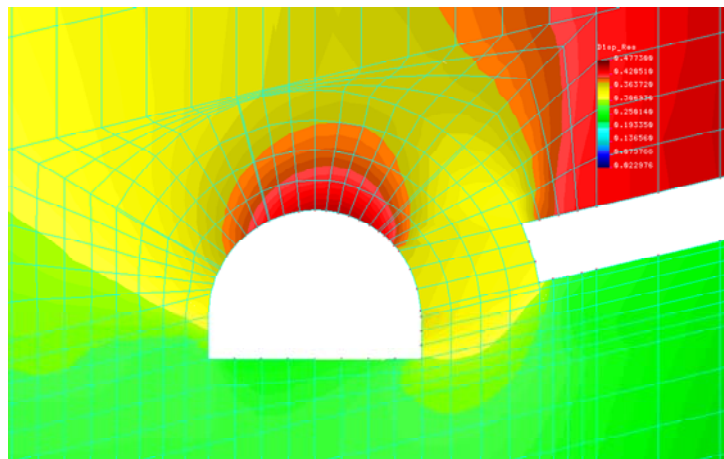


Рис. 4.37. Распределения полных перемещений при новом способе

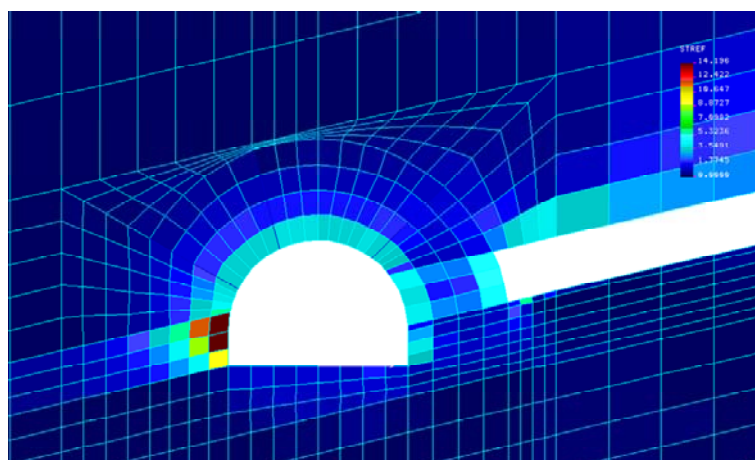


Рис. 4.38. Распределения величины σ_e/R_c в окрестности подготовительной выработки при новом способе

Таким образом, для условий шахты “Шахтерская-Глубокая” рекомендуемыми параметрами предлагаемого способа поддержания подготовительной выработки являются: арочная податливая крепь + дополнительно установлены: один анкер ($l_a = 3$ м) со стороны падения на высоте 2 м от почвы под углом 30^0 к горизонтали; второй анкер со стороны восстания на высоте 3 м от почвы под углом 135^0 и третий в кровле со смещением от оси выработки в сторону падения на 0,5 м под углом 75^0 , со стороны будущей лавы в раскоске установлено ограждение шириной 2,5 м из железобетонных плит, при которых уменьшается величина горизонтальной и вертикальной конвергенции в выработке на 50 %.

ГЛАВА 5

ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ ПРИ НОВОМ СПОСОБЕ ОХРАНЫ И ПОДДЕРЖАНИЯ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ГЛУБИН

5.1. Горно-геологические условия экспериментального участка

Шахтные исследования нового способа охраны и поддержания выработок проводились в 1-ом западном конвейерном штреке уклонной панели центрального блока пласта h_8 , в котором был выбран экспериментальный участок (100 м).

В пределах рассматриваемого участка шахтного поля угольный пласт h_8 имеет 2-х пачечное строение. Верхняя пачка мощностью 1,13 м, нижняя – 0,21 м. Между ними залегает сланец глинистый темно – серый, «кучерявой» текстуры, мощностью от 0,23 до 0,5 м. Угол залегания пласта – 13° , мощность пласта выдержанная – 1-1,5 м, средний объемный вес – $1,62 \text{ т/м}^3$, предел прочности на сжатии – 16 МПа. Стратиграфическая колонка пласта h_8 представлена на рис. 2.1.

Непосредственная кровля пласта представлена сланцем глинистым мощностью 3-4 м. Сланец глинистый темно – серый, массивный с включениями очень мелких пачек, расположенных группами по 5-6 штук. В начале слоя мощностью 0,2-0,5 м «кучерявчик». Сцепление по слою прочное, контакт с углем четкий. Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 60-70 \text{ МПа}$. Коэффициент крепости $f=5-6$. Породы среднеустойчивые Б₄. Разбит системой трещин (2-4 тр. на 1 п.м).

Основная кровля пласта представлена сланцем песчаным темно-серым, тонко-слоистым с тонкими прослойками плотного песчаника. Мощность основной кровли 5,6-14,40 м. Сцепление прочное. Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 75 \text{ МПа}$, $f=7$. Породы основной кровли труднообрушаемые А₃.

Непосредственная почва пласта представлена сланцем песчаным темно-серым, слюдистым. Мощность от 2,60 до 4,50 м. В начале слоя от 0,40 до 0,70 м

«кучерявчик» с обильными отпечатками корневищ растений. Далее плотный массивный, однородный. Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 53-87$ МПа, $f = 5-8$. Породы почвы среднеустойчивые П₂. Почва пласта склонна к пучению.

Основная почва представлена песчаником мелкозернистым, серым, слоистым, слюдистым, однородным, мощностью от 5 до 8 м. Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 132$ МПа, $f = 13$. Породы основной почвы устойчивые П₃.

5.2. Технология проведения подготовительных выработок при реализации нового способа охраны и поддержания

Проведение выработки ведется комплексной проходческой бригадой участка ПР-3. Режим работы забоя 4-х сменный, продолжительность смены 6 часов – три смены рабочие и одна ремонтно-подготовительная. В ремонтно-подготовительную смену производится ремонт машин и механизмов, ревизия и ремонт электроаппаратуры, наращивание конвейера, противопожарного и вентиляционного трубопроводов, зачистка и осланцевание выработки, настилка рельсового пути, доставка крепежных материалов и оборудования. В рабочие смены ведется прохождение и крепление выработки. Работы при этом организуются по графику 2 цикла в смену.

Прохождение выработки ведется комбайном КСП-32, который производит отбойку и погрузку горной массы. Отбитая горная масса через ленточный перегружатель грузится на ленточный конвейер 1ЛТ-800Д, по которому транспортируется к бункеру, а далее в вагонетки ВГ-2,5, находящиеся под бункером на вспомогательном уклоне. После выемки комбайном горной массы на 1,6 п.м комбайн отгоняется от забоя и производится установка основной – арочной крепи и дополнительной – три анкера длиной 3,0 м в соответствии с параметрами, обоснованными в разделах 3 и 4 (паспортом проведения и крепления подготовительной выработки) и затяжка кровли.

Крепление выработки податливой металлической арочной крепью КМП-А3/13,8 выполняется в следующей последовательности:

- после осмотра забоя и оборки породы по периметру выработки проходчики расчищают место для установки стоек и заделывают лунки в соответствии с паспортом крепления;

- стойки подносятся и устанавливаются поочередно в лунки и скрепляются межрамными стяжками с ранее установленной аркой, при этом боковые стяжки располагаются на 0,8 м ниже верхней кромки стойки;

- с рабочего полка верхняк фиксируется в заданном положении на стойках и соединяется двумя хомутами со стойками арки, при этом в местах соединения верхняка со стойками, соблюдается проектная величина нахлёстки (400 мм);

- элементы арки в каждом узле соединяются двумя хомутами, затяжка гаек производится рабочим стандартным ключом с рукояткой длиной 0,45 м до начала изгиба планок.

- после затяжки хомутов производится соединение верхняка верхней межрамной стяжкой, в соединительных узлах устанавливаются межрамные деревянные распорки диаметром 10 см и проверяется правильность установки рамы, после чего она тщательно расклинивается с вмещающими породами. После этого производится затяжка кровли и затем боков сплошную (в соответствии с паспортом крепления) стяжками;

- по мере затягивания кровли и боков выработки производится тщательное забучивание породой закрепного пространства, при наличии больших пустот выкладываются деревянные костры.

На крепёжных рамах расположенных в 10...12 м от забоя, проходчики должны подтянуть гайки соединительных хомутов, и в дальнейшем они должны регулярно подтягиваться по мере их ослабления.

Сейчас более 80 % анкеров используются совместно с быстротвердеющими синтетическими заполнителями. Из них 90 % – с закреплением по всей длине анкера, остальные 10 % – с “точечным” закреплением. Сталеполимерная анкерная крепь отличается от других видов анкерной крепи использованием для закрепления армирующей штанги в породе высокопрочных быстротвер-

деющих составов на основе смол органического и минерального происхождения. Сталеполимерные анкеры способны практически мгновенно после установки вступать в активную работу с массивом и обеспечивать высокую несущую способность даже в трещиноватых весьма обводненных породах. Явные преимущества сталеполимерных анкеров перед прочими конструкциями явились причиной тому, что на экспериментальном участке использовалась именно они. В качестве бурильного механизма использовался перфоратор ПТ-54. Процесс установки сталеполимерных анкеров сводится к следующему: в шпур вводят 2 ампулы, затем в нем размещают армирующий стержень, который приводят во вращение с помощью ручного электросверла. Вращение армирующего стержня в шпуре производится в течение 30...45 с. За это время оболочка ампул, помещенных в шпуре, полностью разрушается, а компоненты связующего состава смешиваются. Для предотвращения вытекания связующего состава, при установке анкеров в пробуренных с наклоном вверх шпурах (более 30°), на штангу надевается резиновая манжета. Через 1...4 мин на контурном конце армирующего стержня размещают опорные элементы, а натяжение анкера производится уже через 15...30 мин после окончания работ. Далее выполняют работы, связанные с проведением и креплением, раскоской (ширина раскоски 2,5 м), укладкой железобетонных плит. Выполняют затяжку боков выработки. После этого цикл повторяется.

После прохода первой лавы в подготовительной выработке выполняют незначительный (при необходимости) ремонт: подрывку вспученных пород почвы, выравнивание рельсового пути, замену затяжки. Подготовительная выработка сохраняет необходимое сечение при отработке первой лавы и может использоваться повторно, что исключает необходимость проведения новой выработки.

Проветривание забоя осуществляется вентилятором местного проветривания ВМП-6 по вентиляционным прорезиненным трубам диаметром 800 мм (в призабойной части 600 мм). Контроль количества воздуха, поступающего в забой, осуществляется аппаратурой АПТВ.

Автоматический контроль содержания метана на участке осуществляется аппаратурой АМТ-3У, датчики стационарных автоматических приборов контроля содержания метана располагается следующим образом: ДМТ-1 – в призабойном пространстве выработки под кровлей на расстоянии 3-5 м от забоя на стороне, противоположной вентиляционному трубопроводу; ДМТ-2 – в исходящей струе выработки на расстоянии 10-20 м от ее устья под кровлей на стороне, противоположной вентиляционному трубопроводу.

Для защитного отключения электроэнергии при нарушении нормального режима проветривания выработки применяется аппаратура "АЗОТ". Данная аппаратура применяется с датчиком ДКВ, который устанавливается в вентиляционном трубопроводе на расстоянии не более 15 м от забоя выработки.

Контроль за прочностью закрепления анкеров в шпурах производился переносным гидравлическим прибором ПКА-1. Контроль качества натяжения штанг анкерной крепи осуществлялся динамометрическим ключом механического действия КДМ-5. Измерение натяжения анкеров во времени производилось гидравлическим динамометром ДГА-1.

5.3. Визуальные и инструментальные наблюдения за контрольным и экспериментальным участками

В настоящей работе для исследований основных горно-геологических и горнотехнических факторов, определяющих работоспособность крепи и способа охраны и поддержания, а также характер взаимодействия крепи с вмещающим массивом пород на экспериментальном участке, была принята методика, описанная в главе 2.

Оценка работоспособности горных выработок осуществлялась постоянными маркшейдерскими наблюдениями за общим состоянием крепи и выработки в целом, а также за деформациями и сдвигами приконтурного слоя массива вмещающих пород и смещениями элементов крепи. Наблюдения проводились как на участках выработок с экспериментальным (исследуемым) спо-

способом охраны и поддержания, так и на контрольных участках со способом, используемым на шахте.

При инструментальных маркшейдерских исследованиях фиксировалось время начала сдвижений и величина смещений элементов крепи и контура выработки в зависимости от места нахождения очистной выработки рис. 5.1 и рис. 5.2.

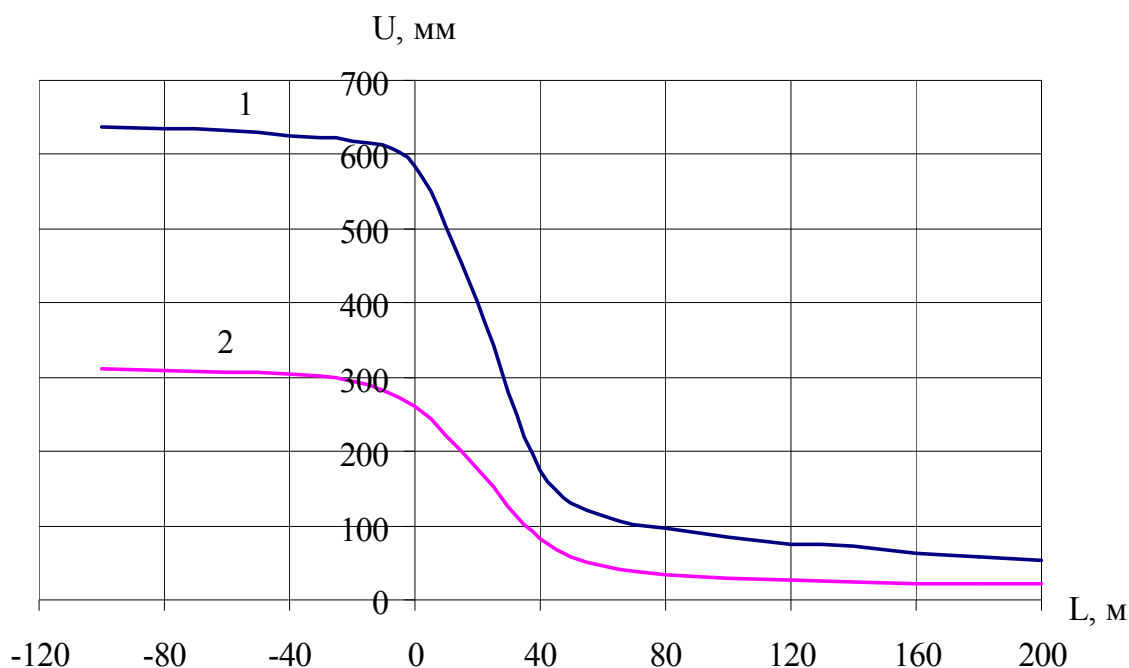


Рис. 5.1. Изменения величины вертикальной 1 и горизонтальной 2 конвергенции на экспериментальном участке в зависимости от места нахождения лавы

На основании этих исследований оценивали тенденцию поведения крепи и влияние ее конструктивных элементов на работоспособность выработки, а также прогнозировалась во времени периодичность и необходимость ремонтов выработки.

Параллельно с производством инструментальных наблюдений производилось визуальное обследование выработок, состояния крепи и затяжки. Результаты наблюдений и измерений заносились в специальный журнал.

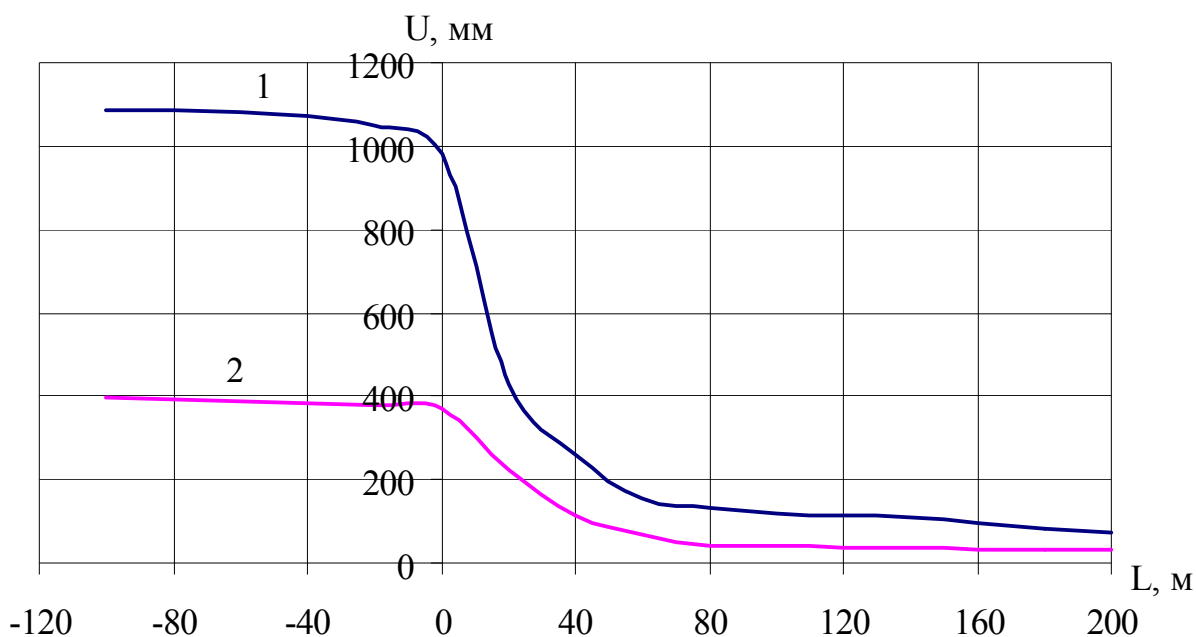


Рис. 5.2. Изменения величины вертикальной 1 и горизонтальной 2 конвергенции на контрольном участке в зависимости от места нахождения лавы

Поскольку методикой исследований предусматривались длительные инструментальные наблюдения, то была принята следующая частота замеров: в первые 15 суток – 1 раз в сутки, в период 1 суток...2 месяца – 1 раз в 5 дней, затем – раз в 10 дней.

Совокупный анализ данных замеров смещений породного массива, окружающего выработку, позволяют сделать следующие выводы.

Смещения породного контура проявляются не сразу после установки постоянной крепи, а через некоторый промежуток времени, который определяется, в первую очередь, устойчивостью вмещающего выработку массива пород, геометрическими параметрами выработки и местом нахождения очистного забоя.

При проведении и поддержании выработок в зоне влияния очистных работ со смещениями кровли, почвы или боков можно выделить три характерных периода: период начальных, интенсивных и установившихся смещений контура

подготовительной выработки (рис. 5.1 и 5.2). Данные измерений показали, что продолжительность интенсивного периода смещений для экспериментального участка составляет 2...3 дня, а для контрольного – 3...4 дня.

Скорости смещений контура вмещающих пород в интенсивном периоде формирования зоны нарушенных пород характеризуются большими величинами для экспериментального участка – 15 см/сут., а для контрольного – 26 см/сут.

В сложных горно-геологических условиях шахты “Шахтерская-Глубокая” применение предложенного способа охраны и поддержания подготовительных выработок обеспечивает замедление начала процессов смещений пород кровли и почвы и значительное уменьшение величины смещений на контуре выработки.

В условиях применяемых на шахте способов охраны и поддержания подготовительных выработок их ремонтируют два-три раза: перед проходом лавы и после. При использовании нового способа ремонт нужно выполнять один раз, после прохода лавы, и значительно меньших объемов.

Результаты натурных измерений, физического и математического моделирования позволили построить обобщенный график изменения вертикальной конвергенции в подготовительной выработке (рис. 5.3), что дает возможность оценить и сравнить применяемые технические решения, полученные при натурных, лабораторных и численных экспериментах.

Результаты, полученные при натурных измерениях, физическом и математическом моделировании, практически совпадают (расхождения составляют 11,2 %) (рис. 5.3). Это подтверждает правильность выбора моделей и позволит, в дальнейшем, обосновывать параметры предложенного способа охраны и поддержания подготовительных выработок для различных горно-геологических условий.

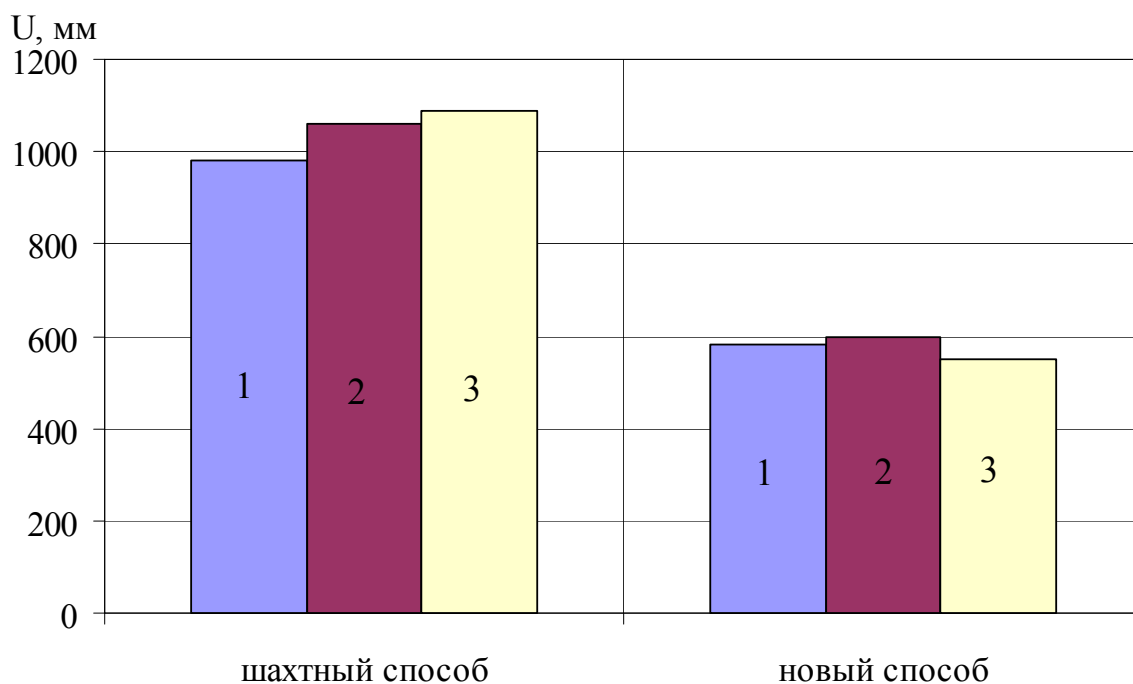


Рис. 5.3. Изменение величины вертикальной конвергенции в подготовительной выработке в зависимости от рассматриваемого способа:

1 – результаты шахтных наблюдений; 2 – результаты физического моделирования; 3 – результаты математического моделирования.

5.4. Расчет экономической эффективности нового способа охраны и поддержания подготовительных выработок

Новый способ охраны и поддержания подготовительных выработок имеет значительные экономические преимущества по сравнению со способами применяемые на шахте. Экономия, в основном, достигается за счет сокращения затрат на поддержание выработки в период эксплуатации, уменьшения объемов ремонтных работ, сокращения объемов проведения выработок. Сравнительная экономическая эффективность применения нового способа в подготовительных выработках, вычисляется по прямым затратам в денежном выражении.

При этом учитываются затраты на:

- 1) проведение новой выработки;

- 2) ремонт поддерживаемой выработки;
- 3) установку крепи усиления;
- 4) проведение и крепление раскоски;
- 5) установку анкерной крепи.

Затраты на поддержание подготовительных выработок при новом способе сравниваются с затратами на поддержание выработок при применении шахтного способа и проведения новой выработки. Затраты относятся на 1 п.м длины выработки.

Общий экономический эффект от применения нового способа в подготовительных выработках складывается из экономического эффекта от его применения по всем выработкам, имеющихся на шахте.

Таким образом, натурные наблюдения показали, что продолжительность, величина и скорость смещения контура подготовительных выработок при способе охраны и поддержания, предложенного в данной работе, значительно меньше (в 1,5 раза), чем при шахтном.

Параметры способа охраны и поддержания: арочная податливая крепь + дополнительно установлены один анкер ($l_a = 3$ м) со стороны массива на высоте 2 м от почвы под углом 30^0 к горизонтали, второй анкер со стороны лавы на высоте 3 м от почвы под углом 135^0 и третий в кровле со смещением от оси выработки в сторону массива на 0,5 м под углом 75^0 , со стороны лавы в раскоске установлено охранное ограждение из железобетонных плит шириной 2,5 м являются достаточными для поддержания подготовительных выработок в эксплуатационном состоянии при повторном их использовании для условий шахты “Шахтерская-Глубокая”.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе впервые установленных для горно-геологическим условий шахты “Шахтерская-Глубокая” ГП “Шахтерскантрацит” закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния породного массива при применении комплекса мероприятий, которые направлены на снижение негативного влияния повышенного горного давления, решена актуальная научно-техническая задача повышения устойчивости подготовительных выработок в зоне влияния очистного пространства, расположенных на больших глубинах.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

Выполнен анализ производственной деятельности шахт ГП “Шахтерскантрацит”, что позволило определить цель и сформулировать основные задачи исследований, заключающиеся в обосновании возможности повторного использования подготовительных выработок. Анализ деятельности шахты “Шахтерская-Глубокая” показывает, что причиной неудовлетворительного состояния подготовительных выработок является несоответствие применяемых мероприятий по поддержанию и охране выработок, что проявляется в больших смещениях контура, особенно кровли.

Установлены основные закономерности развития деформации массива в окрестности подготовительной выработки, подверженной влиянию очистных работ. Доказано, что деформирование выделенного сечения подготовительной выработки в зоне влияния лавы происходит несимметрично, с преобладанием вертикальных смещений и перекосом крепи в сторону падения пласта, в два этапа: с расположением лавы на расстоянии от 300 м до 50 м и на расстояние от 50 м до нуля; при этом интенсивность вертикальных смещений на втором этапе в 5 раз выше, чем на первом.

В шахтных условиях установлены основные закономерности деформирования элементов крепи и определен показатель устойчивости выработок, кото-

рый составляет вне зоны влияния очистного забоя $\omega = 0,57$, в зоне влияния – $\omega = 0,14$.

Доказано на моделях из эквивалентных материалов, что осуществление полного комплекса предложенных мероприятий уменьшает смещения контура выработки и приводит к улучшению геомеханической ситуации вокруг подготовительной выработки и сопряжения ее с лавой, что подтверждает эффективность предложенного нового способа охраны выработки в условиях больших глубин разработки.

На основе математического моделирования деформационных процессов в массиве вокруг сопряжения лавы и штрека установлены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния массива в зависимости от характеристик элементов способа охраны подготовительной выработки, что позволило для условий шахты «Шахтерская-Глубокая» определить рациональные параметры нового способа предотвращения негативного воздействия горного давления в зоне влияния очистных работ, а именно: арочная податливая крепь + один анкер (длиной 3 м) со стороны падения на высоте 2 м от почвы под углом 30° к горизонтали, второй анкер со стороны восстания на высоте 3 м от почвы под углом 135° и третий в кровле со смещением от оси выработки в сторону падения на 0,5 м под углом 75° , со стороны будущей лавы в раскоске установлено ограждение шириной 2,5 м из железобетонных плит. Определен шаг обрушения основной кровли в лаве, который составляет 25 м.

На основе выполненных исследований разработаны и утверждены рекомендации по повышению устойчивости подготовительных выработок, эксплуатирующихся на глубоких горизонтах угольных шахт (для условий шахты «Шахтерская-Глубокая»), которые использованы при поддержании 1-го западного конвейерного штрека уклонного поля центрального блока пласта h_8 горизонта 1380 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зборщик М.П. Охрана выработок глубоких шахт в зонах разгрузки / М.П. Зборщик, В.В. Назимко. – К.: Тэхника, 1991. – 248 с.
2. Мировая экономика: глобальные тенденции за 1000 лет / [Под ред. И.С. Королева]. – М.: Экономист, 2003. – 247 с.
3. Ширнин И.Г. Угольные и энергетические ресурсы мира и Украины / И.Г. Ширнин, В.И. Дубницкий // Уголь Украины. – 2007. – №1. – С. 5-8.
4. Доброгорский Н.А. Уголь вчера, сегодня, завтра / Н.А. Доброгорский, В.И. Бычков. – Днепропетровск: Січ, 1994. – 93 с.
5. Ширнин И.Г. Энергетическая безопасность в мире / И.Г. Ширнин, В.А. Палкин, В.И. Дубницкий // Уголь Украины. – 2007. – №12. – С. 38-43.
6. Красник В.Г. Программы перспективного развития угольной промышленности Украины / В.Г. Красник // Уголь Украины. – 2006. – №12. – С. 6-8.
7. Концепція розвитку вугільної промисловості // Уголь Украины. – 2005. – №9. – С. 3-4.
8. Ляшенко О.Ф. Першочергові заходи з оздоровлення вугільної промисловості / О.Ф. Ляшенко, М.М. Кулик // Уголь Украины. – 2006. – №1. – С. 6-9.
9. Янко С.В. Основные направления технического развития шахт Украины / С.В. Янко // Уголь Украины. – 1993. – №1. – С. 8-11.
10. Кара В.В. Состояние и ремонт горных выработок на угольных шахтах Украинской ССР / В.В. Кара, И.Ю. Заславский, Г.Л. Зорин // Шахтное строительство. – 1988. – №6. – С. 22-25.
11. Повышение устойчивости подготовительных выработок угольных шахт / [Заславский И.Ю., Компанец В.Ф., Файвищенко А.Г., Клещенко В.М.] – М.: Недра, 1991. – 235 с.

12. Селезень А.П. Состояние подготовительных выработок и пути повышения их устойчивости / А.П. Селезень // Уголь Украины. – 1987. – №5. – С. 25-27.
13. Косков И.Г. Основные направления совершенствования крепления горных выработок / И.Г. Косков // Шахтное строительство. – 1985. – №1. – С. 3-5.
14. Державна статистична звітність ДП «Шахтарськантрацит»: форма №1-пек (вугілля). – Шахтарськ, 2009.
15. Черняк И.Л. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт / И.Л. Черняк, Ю.И. Бурчаков. – М.: Недра, 1984. – 304 с.
16. Симанович А.М. Охрана выработок на глубоких горизонтах / А.М. Симанович, М.А. Сребный. – М.: Недра, 1976. – 144 с.
17. Охрана подготовительных выработок без целиков / [Н.П. Бажин, В.В. Райский, Ю.В. Волков и др.]. – М.: Недра, 1975. – 296 с.
18. Глушко В.Т. Охрана выработок глубоких шахт / Глушко В.Т., Цай Т.Н., Ваганов И.И. – М.: Недра, 1975. – 200 с.
19. Болгожин Ш.А.-Г. Поддержание пластовых выработок на большой глубине / Болгожин Ш.А.-Г., Лезин Г.Д., Ищанов Т.К. – Алма-Ата: Наука, 1983. – 102 с.
20. Стрельченко И.И. Шахтные испытания комплекса оборудования «Титан-1» / И.И. Стрельченко, С.Н. Ицкович, В.П. Ключко // Уголь Украины. – 1975. – № 1. – С. 31.
21. Усаченко Б.М. Геомеханика охраны выработок в слабометаморфизированных породах / Усаченко Б.М., Чередниченко В.П., Головчанский И.Е. – Киев: Наук. Думка, 1990. – 144 с.
22. Катков Г.А. Совершенствование способов охраны подготовительных выработок на больших глубинах / Г.А. Катков, А.С. Диманштейн // Добыча угля подземным способом. – 1978. – № 9. – С. 32-34.

23. Катков Г.А. Охрана горных выработок полосами из твердеющих материалов / Г.А. Катков, А.С. Диманштейн, Н.Я. Полищук // Уголь. – 1979. – № 3. – С. 26-29.
24. Графова А.Я. Область применения жестких полос для охраны штреков на пологих пластах Донецкого бассейна / А.Я. Графова, С.И. Выборнова // Добыча угля подземным способом. – 1979. – № 7. – С. 18-19.
25. Байсаров Л.В. Опыт применения импортных и отечественных составов сухих смесей при возведении литых окоштрековых полос на шахте «Красноармейская Западная» №1 / Л.В. Байсаров, А.А. Яйцов, В.А. Болбат // Уголь Украины. – 2005. – №11. – С. 3-5.
26. Кошелев К.В. Охрана и ремонт горных выработок / Кошелев К.В., Петренко Ю.А., Новиков А.О. – М.: Недра, 1990. – 218 с.
27. Кошелев К.В. Поддержание, ремонт и восстановление горных выработок / К.В. Кошелев, А.Г. Томас. – М.: Недра, 1985. – 215 с.
28. Фатеев В.Ф. Проведение горных выработок одиночным забоем / В.Ф. Фатеев, В.М. Клещенко // Уголь. – 1980. – № 2. – С. 15-19.
29. Григорьев В.Л. Возможные способы охраны подготовительных выработок при увеличении глубины разработки в основных угольных бассейнах / В.Л. Григорьев // Добыча угля подземным способом. – 1978. – № 2. – С. 22-24.
30. Мельников Н.М. Шахтные исследования полимерной анкерной крепи / Н.М. Мельников, Н.В. Козицкий, Н.В. Ноздричев // Технология добычи угля подземным способом. – 1974. – №8. – С. 5-7.
31. Обратный свод крепи из разгруженных от напряжений и упрочненных пород почвы / Г.Г. Литвинский, Г.В. Бабиюк, В.С. Кукленко [и др.] // Уголь Украины. – 1980. – № 2. – С. 14-15.
32. Комиссаров М.А. Исследование длительности защитного действия разгрузки выработок скважинами по углю / М.А. Комиссаров, А.Г. Федорук, И.А. Павленко // Уголь Украины. – 1975. – № 8. – С. 15-18.

33. Каталог типовых условий эксплуатации механизированных комплексов на пологонаклонных (до 35°) пластах / [авт.-упоряд. А.А. Орлов и др.]. – Л.: ВНИМИ, 1985. – Ч.1. – 235 с.
34. Изучение проявлений горного давления на моделях / [Кузнецов Г.Н. и др.]. – М.: Углетехиздат, 1959. – 283 с.
35. Левинсон-Лессинг Ф. К вопросу о давлении в тоннелях / Ф. Левинсон-Лессинг, А. Зайцев. – М.: ОНТИ, 1915. – 118 с.
36. Покровский Г.И. Центробежное моделирование / Покровский Г.И. – М.: ОНТИ, 1935. – 54 с.
37. Покровский Г.И. Центробежное моделирование в горном деле / Г.И. Покровский, И.С. Федоров. – М.: Недра, 1969. – 247 с.
38. Ильштейн А.М. Закономерности проявлений горного давления / Ильштейн А.М. – М.: Углетехиздат, 1958. – 169 с.
39. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве: дисс....доктора техн. наук: 05.15.04.; 05.15.11 / Шашенко Александр Николаевич. – Днепропетровск, 1988. – 507 с.
40. Кузнецов Г.Н. Экспериментальные методы исследования вопросов горного давления / Г.Н. Кузнецов // Тр. совещания по управлению горным давлением – М.: Углетехиздат, 1948. – С. 9-149.
41. Козин А.М. Эквивалентные материалы для моделирования слабых пород / Козин А.М. – М.: Углетехиздат, 1958. – 19 с.
42. Козин А.М. Методическое руководство по подбору и испытанию эквивалентных материалов для моделирования / Козин А.М., Рутковская Е.П. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1974. – 40 с.
43. Ломтадзе В.Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород / Ломтадзе В.Д. – Л.: Недра, 1972. – 312 с.
44. Свойства горных пород и методы их определения / [Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф.]. – М.: Недра, 1969. – 392 с.
45. Насонов И.Д. Моделирование физических процессов в горном деле / И.Д. Насонов, В.И. Ресин. – М.: Изд. Академии горных наук, 1999. – 343 с.

46. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике / Гмурман В.Е. – М.: Высшая школа, 1975. – 333 с.
47. Динник А.Н. Статьи по горному делу / Динник А.Н. – М.: Недра, 1957. – 124 с.
48. Феннер Р. Исследование горного давления / Р. Феннер // Вопросы теории горного давления / Р. Феннер. – М., 1961. – С. 124-135.
49. Руппенейт К.В. Некоторые вопросы механики горных пород / Руппенейт К.В. – М.: Недра, 1954. – 256 с.
50. Либерман Ю.М. Давление на крепь капитальных выработок / Либерман Ю.М. – М.: Недра, 1969. – 238 с.
51. Заславский Ю.З. Горное давление и крепь в капитальных выработках глубоких шахт Донбасса / Заславский Ю.З. – Донецк, 1968. – 187 с.
52. Ержанов Ж.С. Ползучесть горных пород и ее влияние напряженно-деформированное состояние сооружений: автореф. дисс. на соиск. науч. степени докт. техн. наук. / Ж.С. Ержанов. 1962. – 32 с.
53. Векслер Ю.А. Исследование больших деформаций ползучести и разрушения горных пород вокруг горизонтальных выработок: автореф. дисс. на соиск. науч. степени докт. техн. наук / Ю.А. Векслер. 1978. – 34 с.
54. Протодяконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление / Протодяконов М.М. – М., 1930. – 245 с.
55. Цимбаревич П.М. Рудничное крепление / Цимбаревич П.М. – М.: Углетехиздат, 1951. – 608 с.
56. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов / Борисов А.А. – М.: Недра, 1980. – 316 с.
57. Слесарев В.Д. Механика горных пород / Слесарев В.Д. – М.: 1948. – 183 с.
58. Жданкин Н.А. Геомеханика горных выработок / Н.А. Жданкин, А.А. Жданкин. – Новосибирск.: Наука, Сиб. отделение, 1990. – 112 с.

59. Метод граничных элементов в задачах горной геомеханики / [Новикова Л.В, Пономаренко П.И., Приходько В.В., Морозов И.Т.]. – Днепропетровск: изд-во Наука и образование, 1997. – 180 с.
60. Цырульникова М.Н. Анализ результатов расчета объемного напряженного состояния пород кровли впереди забоев горных выработок / М.Н. Цырульникова // Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского. – Новосибирск: ИГД. – 1982. – № 204. С. 50-52.
61. Sinclair T.S.E. Hergete Applications of a computer model to the analysis of rock-backfill inter / T.S.E. Sinclair, J.N. Shillabeer // Appl-Rock Mech. Mining Proc. – 1978. – №2. – P. 45-51.
62. Shimotani Takato. Исследование прочности мрамора при полиосном расположении эллиптических трещин с помощью метода собственных деформаций / Shimotani Takato, Yamatoni Siro, Yamaguchi Umetato // J. Mining and Met. Inst. Jap.– 1980. – 96, N 1110. – P. 529-534.
63. Everling G. Ein Gebirga rockreehenmodellee als Planung ehilt / G. Everling, A.G. Meyer // Gluckaut – Forach – H.33. – 1972. – S. 81-88.
64. Бенерджи П. Методы граничных элементов в прикладных науках [пер. с англ.] / П. Бенерджи, Р. Батеерфилд. – М.: Мир, 1984. – 494 с.
65. Векслер Ю.А. Решение пространственной задачи упругости для подготовительной выработки / Ю.А. Векслер, Н.А. Жданкин, С.Б. Колоколов // ФТПРПИ. – 1981. – № 4. – С. 15-23.
66. Векслер Ю.А. Анализ объемного напряженно-деформированного состояния массива пород в окрестности забоя горной выработки / Ю.А. Векслер, Н.А. Жданкин, С.Б. Колоколов // Аналитические и численные исследования в механике горных пород. – Новосибирск.: ИГД. – 1981. – С. 70-72.
67. Петухов И.М. Напряженное состояние массива горных пород около очистных выработок произвольной формы в плане / И.М. Петухов, В.В. Зубков, И.А. Зубкова [и др.]. // ФТПРПИ. – 1982. – № 5. – С. 3-8.

- 68.Новикова Л.В. Оценка влияния забоя выработки на напряженно-деформированное состояние крепи соседних выработок и окружающих пород / Л.В. Новикова, Н.П. Уланова, К. Абдулах // Науковий вісник НГА України. – 1998. – № 1. – С. 29-31.
- 69.Сдвижкова Е.А. Численный анализ работы металлической рамной крепи в условиях случайного нагружения / Е.А. Сдвижкова // Горный информационный аналитический бюллетень. – 1997. – № 4. – С. 163-166.
- 70.Розин Л.А. Расчет гидротехнических сооружений на ЭЦВМ. Метод конечных элементов / Розин Л.А. – Л.: Энергия, 1971. – 214 с.
- 71.Розин Л.А. Метод конечных элементов в приложении к упругим системам / Розин Л.А. – М.: Стройиздат, 1977. – 129 с.
- 72.Зенкевич О. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред / О. Зенкевич, И. Чанг: пер. с англ. – М.: Недра, 1974. – 239 с.
- 73.Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Сегерлинд Л.: пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 392 с.
- 74.Стренг Г. Теория метода конечных элементов / Г. Стренг, Дж. Фикс: пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 350 с.
- 75.Деклу Ж. Метод конечных элементов / Деклу Ж.: пер. с фран. – М.: Мир, 1976. – 96 с.
- 76.Амусин Б.З. Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики / Б.З. Амусин, А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1975. – 144 с.
- 77.Амусин Б.З. Расчет взаимодействия крепи подземных выработок некругового очертания с неоднородным вязкоупругим массивом горных пород / Б.З. Амусин // ФТПРПИ. – 1979. – № 2. – С. 100-102.
- 78.Ержанов Ж.С. Метод конечных элементов в задачах механики горных пород / Ж.С. Ержанов, Т.Д. Каримбаев. – Алма-Ата.: Наука, 1975. – 238 с.
- 79.Амусин Б.З. Применение метода конечных элементов к задачам горной геомеханики / Б.З. Амусин, А.П. Троицкий, А.Б. Фадеев // Тезисы докла-

- дов к конференции по применению ЭВМ в строительной механике. – М.: 1972. – С. 16-20.
- 80.Новикова Л.В. Распределение напряжений в массиве горных пород на участке сопряжения двух выработок / Л.В. Новикова, А.И. Калашников, В.С. Лесников // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1984. – № 2. – С. 25.
- 81.Хозяйкина Н.В. Закономерности изменения напряженно-деформированного состояния породного массива на первом этапе отработки угольного пласта / Н.В. Хозяйкина, Е.А. Сдвижкова // Сборник научных трудов НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ. – Т.1, №17. – 2003. – С. 306-311.
- 82.Шашенко А.Н. Вероятностная оценка устойчивости подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ / А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова // Геотехническая механика. – 2000. – Вып. 20. – С. 58-61.
- 83.Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики / Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. – К.: Пульсары, 2001. – 243 с.
- 84.Сдвижкова Е.А. Устойчивость подземных выработок в структурно-неоднородном породном массиве со случайно распределенными свойствами: дисс...доктора техн. наук: 05.15.09 / Сдвижкова Елена Александровна. – Днепропетровск, 2002. – 410 с.
- 85.Панишко А.И. Обоснование параметров рамно-анкерной крепи подготовительных выработок в условиях шахт ГХК "Шахтерскантрацит": дисс....кандидата техн. наук: 05.15.04 / Панишко Александр Иванович. – Днепропетровск, 2001. – 153 с.
- 86.Солодянкин А.В. Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости протяженных выработок: дисс...доктора техн. наук: 05.15.04.; 05.15.09 / Солодянкин Александр Викторович. – Днепропетровск, 2009. – 426 с.

Наукове видання

Терещук Роман Миколайович
Наумович Олександр Володимирович

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК
ГЛИБОКИХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

Монографія

(Російською мовою)

Видано в редакції авторів.

Підп. до друку 26.01.2015. Формат 30x42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 6,2.
Обл.-вид. арк. 6,2. Тираж 100 пр. Зам. № ____.

Підготовлено до друку та видруковано
у Державному вищому навчальному закладі
«Національний гірничий університет».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842
від 11.06. 2004.

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.