

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



**Р.Н. ТЕРЕЩУК  
С.П. ЛОЗОВСКИЙ**

**УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ  
ВЫРАБОТОК С НЕУСТОЙЧИВОЙ ПОЧВОЙ  
В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ**

**МОНОГРАФИЯ**

**Днепропетровск  
НГУ  
2014**

УДК 622.261.2:622.833

ББК 33.15

Т 35

Рекомендовано до друку вченою радою Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (протокол № 3 від 31 березня 2014 р.).

Рецензенти:

**О.О. Сдвижкова** – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри вищої математики Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет»;

**С.В. Борщевський** – д-р техн. наук, проф., проф. кафедри будівництва шахт і підземних споруд Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет».

**Терещук Р.М.**

Т 35 Устойчивость подготовительных выработок с неустойчивой почвой в зоне влияния очистных работ: монография / Р.Н. Терещук, С.П. Лозовский; М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2014. – 104 с.

ISBN 978–966–350–466–7

Изложены результаты исследований способа крепления и поддержания подготовительных выработок с учетом установленных автором закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния породного массива вблизи выработанного пространства лавы в условиях неустойчивых пород почвы. На основе выполненных исследований определены рациональные параметры нового комплексного способа предотвращения негативного воздействия горного давления на приконтурный массив подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ в горно-геологических условиях ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса».

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

УДК 622.261.2:622.833

ББК 33.15

ISBN 978–966–350–466–7

© Р.М. Терещук, С.П. Лозовський, 2014

© Державний ВНЗ «НГУ», 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>ГЛАВА 1. Анализ информации о состоянии угольной промышленности и подготовительных выработок в условиях пучащих пород почвы</b>	6
1.1. Некоторые сведения о работе угольной промышленности и состоянии протяженных выработок на шахтах Украины в топливно-энергетическом комплексе.....	6
1.2. Особенности функционирования подготовительных выработок в условиях ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса».....	9
<b>ГЛАВА 2. Анализ проявлений горного давления в подготовительных выработках в условиях ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса» на основе визуальных наблюдений и инструментальных измерений</b> .....	13
2.1. Общая характеристика ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса».....	13
2.2. Горно-геологические и горнотехнические условия разработки.....	13
2.3. Устройство замерных станций и методика наблюдений.....	15
2.3.1. Выбор и размещение экспериментальных участков.....	15
2.3.2. Устройство замерных станций.....	15
2.3.3. Методика и производство наблюдений.....	16
2.4. Визуальные наблюдения и инструментальные измерения.....	28
2.5. Анализ возможных мероприятий по борьбе с пучением почвы в подготовительных выработках в зоне влияния очистных работ.....	22
2.6. Анализ способов охраны и поддержания подготовительных выработок	26
2.6.1. Анализ способов поддержания подготовительных выработок....	26
2.6.2. Выбор рациональных способов охраны выработок, примыкающих к очистным забоям.....	29
2.6.3. Анализ причин неудовлетворительного состояния выработок в тяжелых горно-геологических и горнотехнических условиях в зоне влияния очистных работ.....	31
2.7. Разработка способа охраны и поддержания подготовительной выработки в условиях ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса».....	33
<b>ГЛАВА 3. Лабораторные исследования деформирования приконтурного массива и обоснование параметров способа поддержания подготовительных выработок на физических моделях</b> .....	36
3.1. Сущность метода моделирования на эквивалентных материалах. Подбор материалов для моделирования условий ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса».....	54
3.2. Методика формирования моделей и проведения экспериментов.....	40
3.3. Анализ результатов лабораторного моделирования.....	54
<b>ГЛАВА 4. Аналитические исследования напряженно-деформированного состояния породного массива в кровле очистной выработки и на сопряжении “лава-штрек”</b> .....	55
4.1. Гипотезы формирования горного давления вблизи очистных выработок.....	55

4.2. Анализа численных методов исследования напряженно-деформируемого состояния горного массива.....	58
4.3. Исследование влияния циклических обрушений основной кровли в лаве на процесс пучения пород почвы.....	59
4.4. Разработка алгоритма исследования процесса пучения почвы в подготовительной выработке и обоснование расчетной схемы.....	65
4.5. Исследование напряженно-деформированного состояния приконтурного массива на сопряжении “лава-штрек” и определение наиболее рациональных мероприятий по поддержанию подготовительных выработок.....	70
<b>ГЛАВА 5. Шахтные исследования проявления горного давления в подготовительных выработках при новом способе охраны и поддержания.....</b>	<b>92</b>
5.1. Горно-геологические условия экспериментального участка.....	92
5.2. Технология выполнения работ при реализации нового способа охраны и поддержания подготовительных выработок.....	92
5.3. Визуальные и инструментальные наблюдения за экспериментальным участком.....	94
5.4. Расчет экономической эффективности нового способа охраны и поддержания подготовительных выработок.....	96
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>98</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>99</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Для успешного решения проблемы подземной угледобычи необходима ритмичная безотказная работа угольных шахт, важным структурным элементом которых является подготовительная выработка. Благодаря высокой степени однородности породного массива, обеспечение надежного функционирования подготовительных выработок при относительно небольших затратах на их сооружение и поддержание представляет собой сложную научно-техническую задачу.

Переход в последние годы на отработку пластов в более сложных горно-геологических условиях (в связи с увеличением глубины горных работ, введением в работу лав на пластах со слабыми почвами и труднообрушающимися кровлями) привел к ухудшению состояния горных выработок в зоне влияния очистных работ и к необходимости поиска новых организационных и технических решений. Особенно актуальна эта задача в зоне влияния очистных работ, поскольку нормальные условия работы комплексно-механизированных угольных забоев возможны только при условии обеспечения надежного эксплуатационного состояния подготовительных горных выработок.

Опыт работы шахт Донецкого региона показывает, что существующие способы охраны и поддержания подготовительных выработок далеко не всегда позволяют решить задачу обеспечения необходимой эксплуатационной устойчивости выработок в конкретных горно-геологических условиях.

Примером этому является ПАО «ДТЭК Шахта Комсомolec Донбасса», для которой в связи с увеличением глубины разработки очень серьезной становится проблема пучения пород почвы в подготовительных выработках. 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 «выработка-породный массив» с учетом таких сложных процессов, как пучение пород почвы, является актуальной задачей, имеющей важное научное и практическое значение, решению которой и посвящена монография.

# ГЛАВА 1

## АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ПУЧАЩИХ ПОРОД ПОЧВЫ

### 1.1. Некоторые сведения о работе угольной промышленности и состояние протяженных выработок на шахтах Украины в топливно-энергетическом комплексе

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) играет ведущую роль в развитии практически всех промышленно развитых стран, поскольку решение важнейших научно-технических и социально-экономических задач требуют, как правило, неуклонного роста потребления энергетических ресурсов. При этом существенную роль в обеспечении энергетической независимости играют собственные источники энергии.

Традиционными источниками энергии в настоящее время являются минеральные энергоносители – нефть, природный газ, уголь. Нефть и природный газ отличаются более высокой транспортабельностью и технологичностью и, естественно, пользуются значительными преимуществами и повышенным спросом по сравнению с твердым органическим топливом. Запасы органического топлива в мире оцениваются цифрой порядка 13 092 млрд. т. у.т., причем доля твердого топлива здесь составляет более 80 %. Поэтому ограниченность запасов нефти и газа в земной коре и интенсивная их добыча обуславливают пересмотр доли жидких и газообразных углеводородов в топливно-энергетическом балансе мира. Так, мировое потребление энергии в пересчете на условное топливо в настоящее время составляет примерно 19,6 млрд. тонн у.т. в год, из которых 29 % приходится на нефть, 31 % на уголь, 22 % на природный газ, 18 % на другие источники энергии. В перспективе на 2020 г. потребление энергоносителей составит: нефть – 15 %, уголь – 35 %, природный газ – 23%, другие источники энергии – 27 % [1, 2].

За последние 37 лет добыча угля в мире увеличилась более чем в 2 раза (табл. 1.1), а наиболее ценных коксующихся углей с 473 млн. тонн до 800 млн. тонн [3]. Поэтому роль углеводородного сырья как важнейшего энергоносителя сохранится в мире еще длительное время.

Таблица 1.1

Год	1975	1985	1990	2000	2012
Объемы добычи, млн. т	3290	4310	4538	5780	7864,5

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).

Исходя из изложенных выше мировых тенденций прироста добычи угля и увеличения, в перспективе, доли угля в топливно-энергетическом балансе Украины до 50%, были разработаны ряд «Программ...» [4, 5], предусматривающий широкомасштабную реконструкцию действующих и закладку новых шахт.

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 непрерывность и надежность работы подземного комплекса шахты.

Некоторые основные сведения о работе угольной промышленности и состоянии протяженных горных выработок шахт Украины приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Некоторые показатели работы угольной промышленности Украины

Показатели	Год							
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Добыча угля за год, млн. т	80,3	75,5	77,8	72,2	75,2	81,8	85,9	83,7
Всего пройдено выработок за год, км	462,7	446,7	445,9	396	409,2	234	163,0	171,0
Пройдено горных выработок на 1000 т добычи угля, м	5,76	5,92	5,73	5,48	5,44	2,86	1,9	2,04
Удельная длина горных выработок, м/тыс.т общей добычи за год	103,7	106,6	103,1	101,3	98,7	89,5	77,5	83,6
Общая численность персонала, тыс. чел.	362	358	351	345	342	338	331	327
Число рабочих по добыче угля, тыс. чел.	232	228	223	219	216	214	210	208

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 [6]. 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, замене деформированных элементов крепи, применении временной усиливающей крепи, увеличении плотности установки рам и замене межрамных ограждений, подрывке вспученных пород почвы и др. Трудоемкость ремонтных работ по-прежнему остается высокой, достигая 82-84 чел-смен на 1000 т среднесуточной добычи угля.

Около 95% протяженности горных выработок закреплено долговечными крепями, в том числе 88% – металлической и сборной железобетонной крепью, но объемы ремонта выработок из года в год увеличиваются.

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

Несмотря на большой объем ремонтных работ и их высокую трудоемкость, протяженность выработок с неудовлетворительным состоянием остается значительной – 15...17% от общей протяженности поддерживаемых выработок [8] (рис. 1.1), и в целом по угольным шахтам Украины на 2012 г. составила 15,7%.

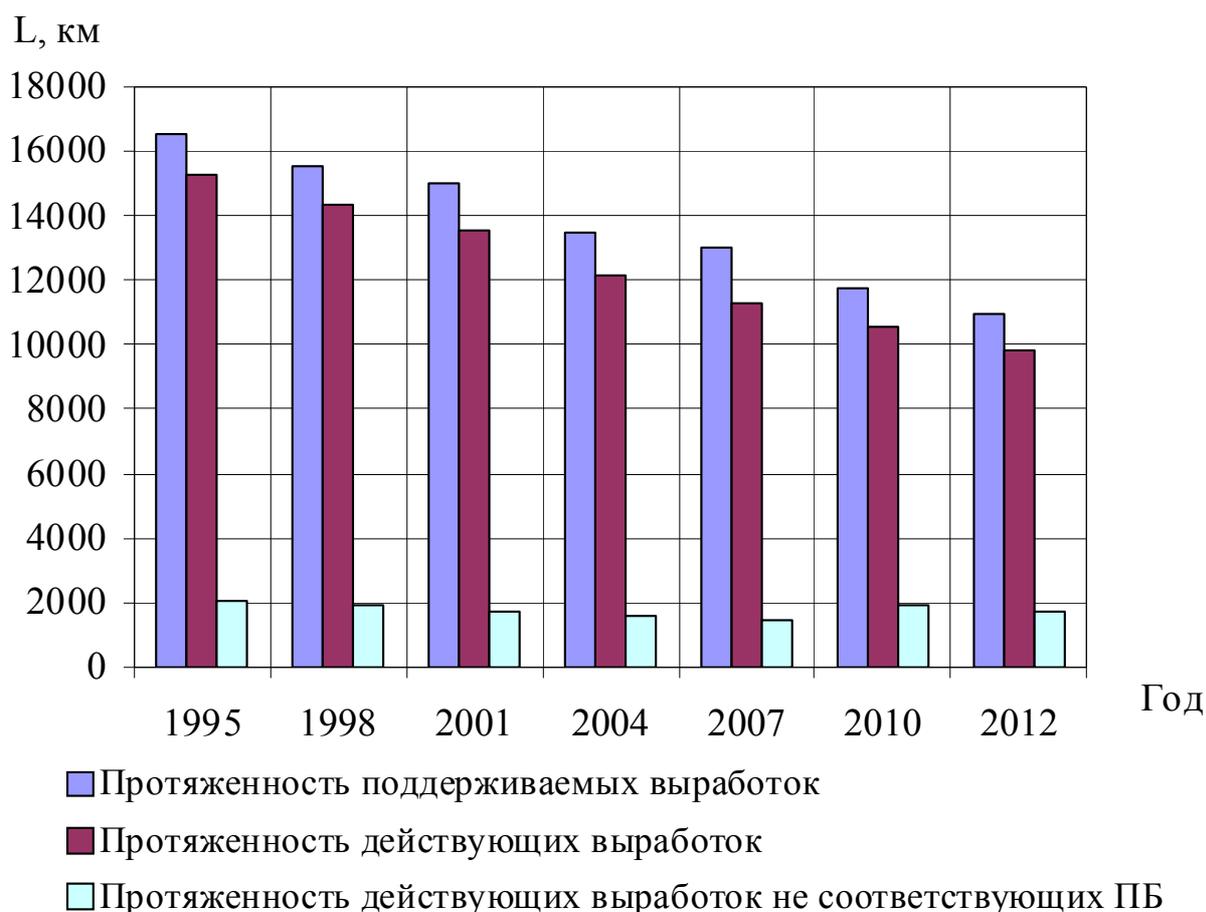


Рис. 1.1. Состояние горных выработок на шахтах Украины за 1995...2012 гг.

За последние восемь 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 этого количества увеличивается, что объясняется усложнением горно-геологических условий поддержания, связанного с уходом большинства шахт на глубину.

В Донецком бассейне ежегодно ремонтируется около 31% выработок от их общей протяженности [9].

При переходе на большие глубины смещения контуров выработок увеличились, примерно, в 3 раза [10]. Применение податливых крепей с большим запасом на осадку (до 85 % всех выработок [11]) 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. Серьезную проблему создает пучение пород в почве выработок, интенсивность которого увеличивается с ростом глубины разработки. Так на сегодняшний день ухудшение состояния выработок из-за процесса пучения составляют 45 % от общего объема деформированных выработок [12].

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 представляет борьба с пучением пород почвы. На угольных шахтах Украины ежегодно подвержены ремонту более 5 тыс. км выработок, в том числе с подрывкой вспученных пород почвы до 3,7 тыс. км.

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 в горно-геологических условиях, для которых свойственно вспучивание пород почвы.

## **1.2. Особенности функционирования подготовительных выработок в условиях ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса»**

Характерным примером работы в указанных выше горно-геологических условиях является ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса», которая находится на территории Шахтерского района Донецкой области Украины.

Добыча угля марки “Т” осуществляется длинными столбами по восстанию с применением прямого порядка отработки.

Из рис. 1.2 и 1.3 видно, что за последние годы на шахте наметился рост добычи угля и объемов проведения выработок (исключением является 2013 г) Однако при этом остается проблема сохранения подготовительных выработок для повторного их использования.

Для горно-геологических условий ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса» характерно пучение глинистых пород почвы. Причем, в наибольшей степени пучение проявляется в подготовительных выработках в зоне влияния очистных работ.

Анализ показывает, что основная причина ремонтных работ (отремонтировано в 2013 г. 18201 п.м) кроется в наличии пучения пород почвы выработок (27%, 4740 п.м), несоответствии несущей способности крепи действующей нагрузке и недостаточно эффективных способов охраны и поддержания (73%).

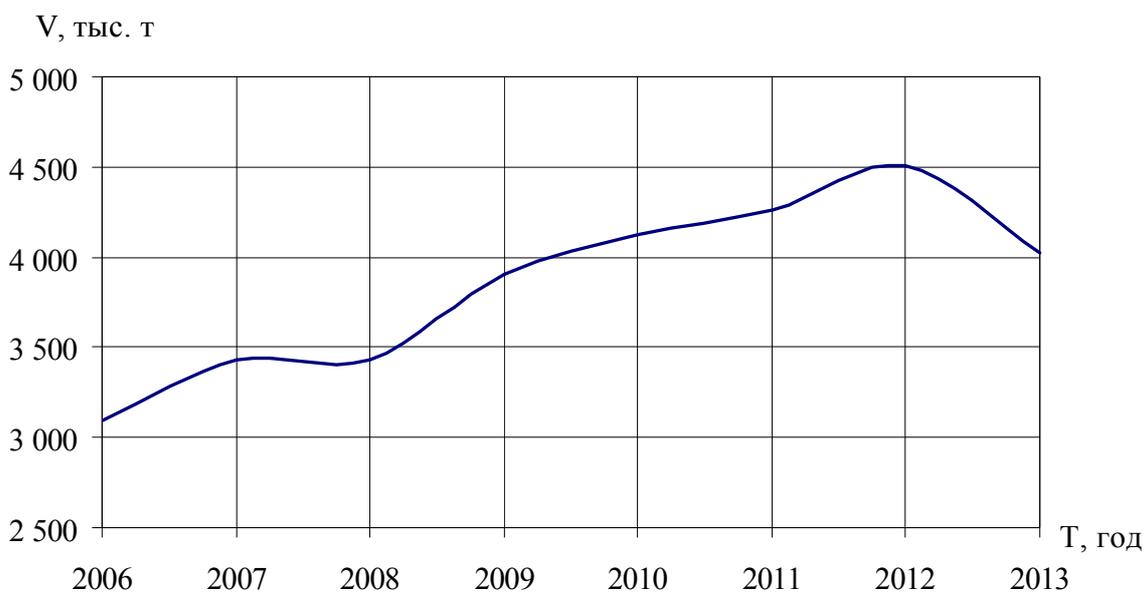


Рис. 1.2. Объемы добычи угля на ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса»

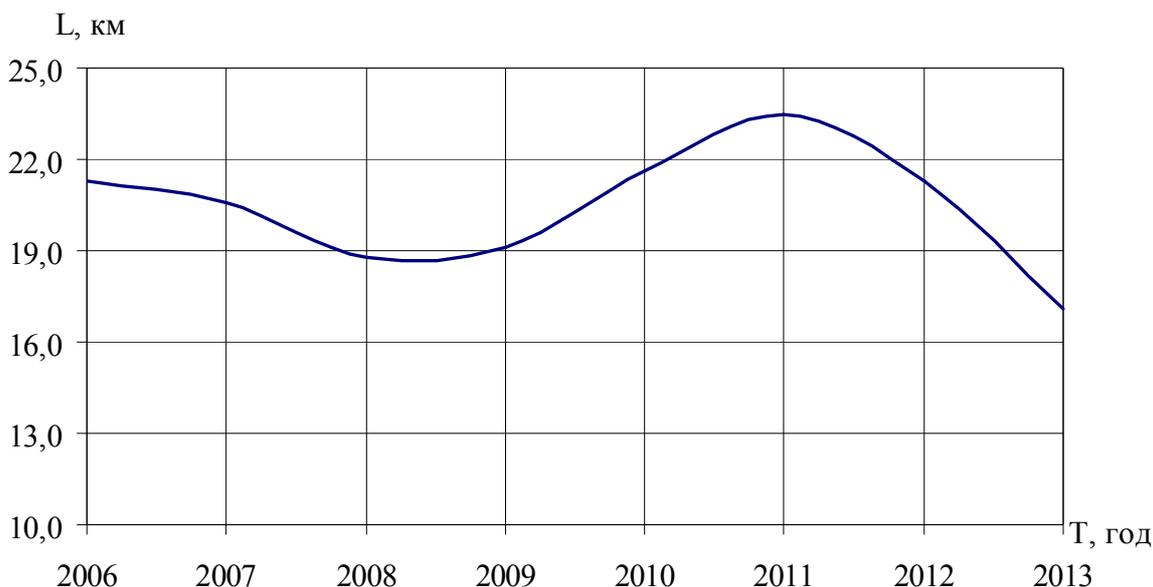


Рис. 1.3. Объемы проведения горных выработок на ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса»

Общая картина состояния капитальных и подготовительных выработок шахты приведена в табл. 1.3.

Таблица 1.3

## Состояние подготовительных выработок на ПАО «ДТЭК Шахта Комсомolec Донбасса»

Наименование выработок	Протяженность, м	Среднее сечение, м <sup>2</sup>	Не удовлетворяют ПБ, м				
			всего	в том числе			по профилю пути
				по сечению	по высоте	по зазорам	
Всего вскрывающих и подготавливающих	112600	11,33	10240	7380	2160	700	8160
- квершлаг	18042	14,0	1520	1100	220	200	2140
- уклоны	46320	9,8	4880	4220	660	0	0
- штреки	35476	13,3	2970	1590	880	500	6020
- другие виды	12762	8,2	870	470	400	0	0

Следует отметить, что пучение в подготовительных выработках в зоне влияния лавы существенно отличается от аналогичного проявления горного давления в капитальных выработках. Этот процесс имеет большую интенсивность, которая не имеет затухающего характера. Напротив, наблюдаются резкие повышения интенсивности с определенной периодичностью, которая приводит к быстро развивающимся деформациям приконтурного массива и разрушению крепи.

Поиск эффективных путей борьбы с пучением в зоне влияния очистных работ является важной практической задачей. Подрывка почвы представляет собой трудоемкий процесс с очень низким уровнем механизации, составляющей всего 6%. Кроме того непрогнозируемый резкий рост интенсивности пучения и деформаций крепи представляет угрозу для безопасности труда рабочих.

Характеризуя состояние проблемы повышения устойчивости подготовительных выработок, необходимо отметить следующее.

Постоянное увеличение глубины ведения горных работ, протяженности поддерживаемых выработок, отработка пластов, находящихся в сложных горно-геологических условиях, существенно ухудшило условия поддержания подготовительных выработок в эксплуатационном состоянии. Применяемые конструкции крепей, в основном подпорно-ограждающего типа, в настоящее время не в состоянии обеспечить достаточную устойчивость выработок. Об этом свидетельствуют все увеличивающиеся затраты на ремонт и поддержание подготовительных выработок, с одновременным увеличением доли применения металлической крепи (в первую очередь – тяжелых профилей).

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 способа повышения устойчивости подготовительных выработок с пучащей почвой в зоне влияния очистных работ в условиях угольных шахт с пологозалегающими пластами и обоснование параметров этого способа.

Идея работы состоит в использовании комплекса технических средств охраны и поддержания подготовительных выработок угольных шахт, проводимых в пучащих породах для повышения устойчивости выработок в зоне влияния очистных работ.

Для достижения этой цели в работе поставлены следующие задачи:

- выбор объекта исследований;
- визуальные обследования и шахтные измерения проявления горного давления в подготовительных выработках ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса»;
- изучение закономерностей деформирования неоднородного породного массива вокруг подготовительных выработок и в кровле лавы; разработка нового способа охраны подготовительных выработок в условиях пучащих пород почвы;
- 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 теме диссертации, 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

### АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ В УСЛОВИЯХ ПАО «ДТЭК ШАХТА КОМСОМОЛЕЦ ДОНБАССА» НА ОСНОВЕ ВИЗУАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

#### 2.1. Общая характеристика ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса»

ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса» эксплуатируется с 1980 года. Производственная мощность шахты составляет 2100 тыс. тонн.

Поле шахты вскрыто шестью вертикальными стволами и погоризонтными квершлагами. Подготовка шахтного поля – погоризонтная. Горизонты заложены на отметках 418, 628 и 810 м с устройством на этих отметках околоствольных дворов.

Порядок отработки – прямой, от основных стволов к границам шахтного поля. Система разработки – длинными столбами по восстанию, управление кровлей – полным обрушением. Отработка запасов “сближенных” пластов осуществляется на групповой полевой воздухопадающий откаточный горизонт, заложенный в междупластии.

Способ проветривания – всасывающий, схема проветривания – секционная.

Очистные забои на пластах  $l_7$  и  $l_4$  оборудованы механизированными комплексами КД-80 в сочетании с комбайном 1К-101.

При проведении подготовительных выработок смешанными забоями применяются проходческие комбайны 4ПП-2М, КСП-32 и КСП-33. Породные забои проходятся буровзрывным способом с применением породопогрузочных машин 2ПНБ-2, 2ПНБ-2Б и 1ППН-5.

Крепление участковых горных выработок производится металлической арочной крепью АП-3 сечением  $13,8 \text{ м}^2$  и шагом крепи 1 рама на 1 п.м. Основные магистральные выработки крепятся металлической арочной крепью АП-3 сечением  $13,8$  и  $15,5 \text{ м}^2$  с шагом крепи 1,5 рамы на 1 п.м.

Из общей протяженности подготовительных выработок на шахте в среднем 8,5 % не удовлетворяют требованиям ПБ, причем к ним относятся только уклоны и транспортные штреки, закрепленные металлической арочной крепью без обратного свода, в которых основной причиной ухудшения их состояния является пучение пород почвы. Выработки же, закрепленные сборным железобетоном, монолитным бетоном и анкерами, находятся в удовлетворительном состоянии.

#### 2.2. Горно-геологические и горнотехнические условия разработки

В настоящее время на шахте разрабатываются три угольных пласта  $l_7$ ,  $l_4$  и  $l_3$ , относящихся к геологической свите  $C_6^2$ . Породы представлены песчано-глинистой фракцией с прослоями углистых образований и песчаников, массивных и относительно мощных.

Пласт  $l_7$  – мощностью 0,9...1,1 м, низко сернистый, простого строения, угол падения  $3...17^\circ$ . Основная кровля пласта – песчано-глинистый, реже с

включением глинистого, сланец мощностью 6...20 м, крепостью  $f = 4...6$ . Повсеместно наблюдается наличие "ложной" кровли мощностью до 0,4 м. Почва пласта представлена глинистым и песчаным сланцем крепостью  $f = 4...7$ , мощностью 3...10 м. Природная метаноопасность пласта  $l_7 - 26...42,3 \text{ м}^3/\text{т.с.о.м}$ .

Пласт  $l_4$  (рис. 2.1) – простого строения мощностью 0,8...1,05 м, средне-сернистый, угол падения  $3...8^0$ , гипсометрия волниста. Преобладает мелко пликвативная и тектоническая нарушенность пласта с  $m = 0,1...0,5$  м дизъюнктивно-го характера с элементами залегания смесителей. Контакты угля с кровлей и почвой волнистые, извилистые, четкие. Непосредственная кровля – глинистый сланец, структура тонкозернистая, текстура полосатая, слоистая, крепость  $f = 4$ , мощность слоя 9,5...13,4 м, трещиноватость 5...10 тр.п.м. Кливаж имеет азимут падения  $50...58^0$ .



Рис. 2.1. Структурная колонка пласта  $l_4$

Основная кровля пласта песчано-глинистый сланец с крепостью  $f = 3...6$ , неустойчивый, мощностью 9...17 м, местами происходит обрушение пород. Почва пласта представлена глинистым и песчано-глинистым сланцем крепостью  $f = 4...6$ , мощностью до 7 м, ниже расположен песчаник  $f = 10$ , мощностью 5...7 м. Пласт  $l_4$  является защитным для пласта  $l_3$ .

Пласт  $l_3$  имеет сложное строение. На северо-западе мощность составляет 1,35...1,5 м, на юго-востоке – 1,06...1,50 м, угол падения  $3...17^0$ . Угол падения пласта  $6-9^0$ . Гипсометрия – волнистая, преобладает мелкоамплитудная тектоническая трещиноватость, секущая, как пласт, так и вмещающие породы, амплитуда 0,2...0,5 м – дизъюнктивного и пликвативного характера, ширина зоны влияния с 5,0...25,0 м, элементы залегания: азимут падения  $145...170^0$ .

Непосредственная кровля – глинистый сланец ( $f = 4$ ), трещиноватость 5...10 тр/п.м.

Почва пласта  $l_3$  – песчаный сланец серый, мелкозернистый, средней крепости ( $f = 6$ ), ниже песчаник  $f = 10 \dots 12$ , мощностью до 30 м.

### 2.3. Устройство замерных станций и методика наблюдений

#### 2.3.1. Выбор и размещение экспериментальных участков.

С начала 2003 года, учитывая развитие горных работ на ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса», были заложены экспериментальные участки в следующих наиболее представительных выработках:

- воздухоподающая выработка 6-й южной лавы пласта  $l_4$ ;
- конвейерная выработка 7-й южной лавы пласта  $l_4$  (рис. 2.2);
- воздухоподающая выработка 4-й западной лавы пласта  $l_4$ ;
- конвейерная выработка 5-й западной лавы пласта  $l_4$ .

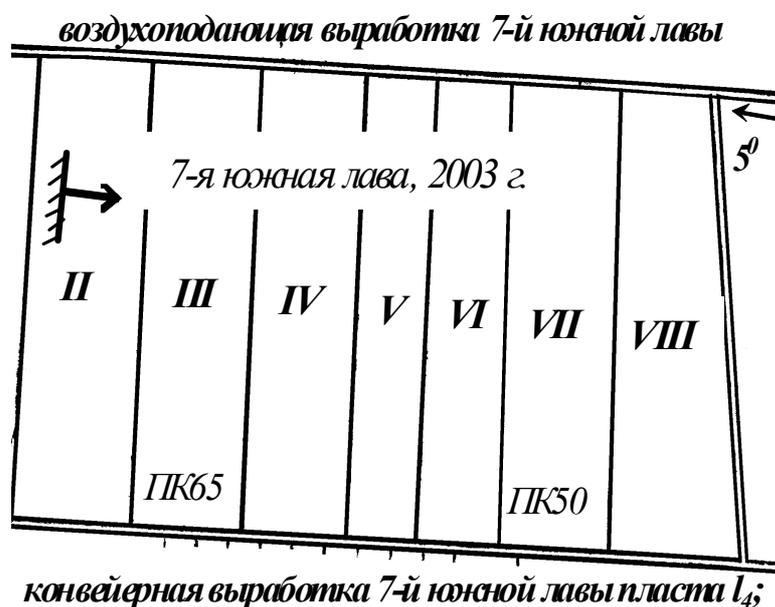


Рис. 2.2. Выкопировка из плана горных работ 7-й южной лавы пласта  $l_4$  гор. 418 м

Экспериментальный участок в конвейерной выработке 7-й южной лавы пласта  $l_4$  представляет собой ряд замерных станций (21 станция), пронумерованных по порядку и расположенных на арках крепи, как показано на рис. 2.3. Длина участка составила 200 м, расстояние между замерными станциями – 10 м.

#### 2.3.2. Устройство замерных станций.

Замерная станция, показанная на рис. 2.4, представляет собой комплектную арку крепи, приспособленную определенным образом для производства замеров. Под стойки арки делаются лунки, сама арка переводится в неподатливый режим работы путем максимального затягивания хомутов. На арку наносится порядковый номер таким образом, чтобы его было хорошо видно. На верхняке арки на расстоянии 150...300 мм от вертикальной оси выработки фикс-

сигуется точка **А** для закрепления отвеса. Для этого на перегибе СВП делается запил глубиной 1...1,5 мм, в который зачеканивается стальная проволока.

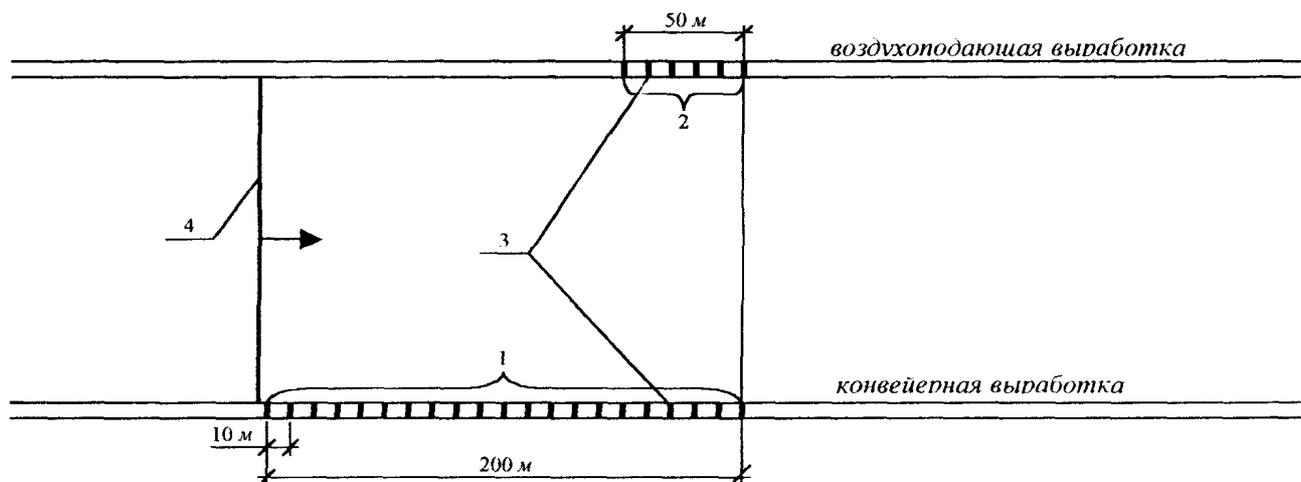


Рис. 2.3. Схема расположения экспериментальных участков относительно очистного забоя: 1 – экспериментальный участок на конвейерной выработке; 2 – экспериментальный участок на воздухоподающей выработке; 3 – замеры станции; 4 – положение очистного забоя на момент начала наблюдений.

### 2.3.3. Методика и производство наблюдений.

С учетом скорости подвигания очистного забоя, частоту измерений принимали равной 2-м измерениям в неделю. Направление обхода замерных станций всегда одно и тоже для каждого экспериментального участка. Суть методики наблюдений такова, что первое измерение отличается от всех последующих. На первом измерении для каждой замерной станции фиксируется в пространстве точка **Ж**, показанная на рис. 2.4. Отталкиваясь от точки **Ж**, будут производиться все последующие измерения. Такая методика позволяет объективно оценить и дифференцировать смещения свода, почвы, одного и другого боков выработки.

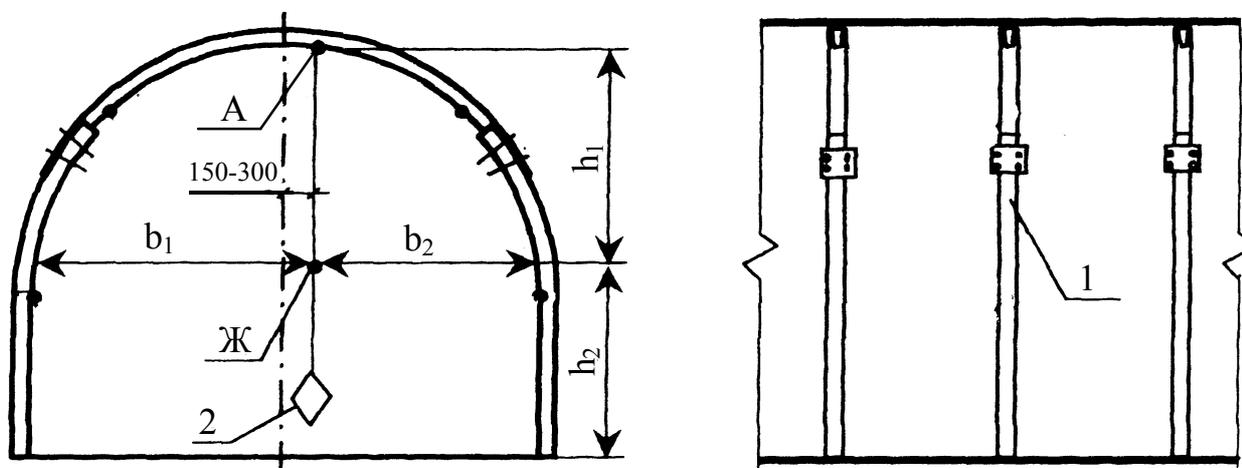


Рис. 2.4. Устройство замерной станции и схема измерений: 1 – арочная крепь (замерная станция); 2 – отвес.

Первое измерение на каждой замерной станции осуществляется в следующей последовательности:

- 1) Отвес закрепляется в точке **А** на верхняке арки (рис. 2.4).
- 2) На отвесе фиксируется точка **Ж** на расстоянии  $h_1 = 1,5$  м от верхняка (рис. 2.4).
- 3) Определяется абсолютная отметка точки **Ж**.
- 4) С помощью рулетки определяются расстояния  $h_2$ ,  $b_1$  и  $b_2$  (рис. 2.4).

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

- 1) Отвес закрепляется в точке **А** на верхняке арки (рис. 2.4).
- 2) На отвесе фиксируется точка **Ж** путем переноса ее абсолютной отметки для данной замерной станции, взятой на первом измерении (рис. 2.4).
- 3) С помощью рулетки определяются расстояния  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $b_1$  и  $b_2$  (рис. 2.4).

Все измерения по каждому из экспериментальных участков оформлялись по форме, приведенной на рис. 2.5.

## **2.4. Визуальные наблюдения и инструментальные измерения**

Исходным материалом для выполнения аналитических исследований, разработки конструктивных и технологических решений по повышению устойчивости подготовительных выработок стали результаты шахтных исследований.

В качестве объекта исследований детально рассмотрению были подвергнуты протяженные выработки, испытывающие влияние очистных работ. Натурные исследования состояния выработок и крепи проводились в условиях ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса».

Поддержание в рабочем состоянии выработок, находящихся в зоне влияния очистных работ является одним из важнейших факторов, определяющих стабильную работу добычных участков. Производительность очистных комплексов, себестоимость добываемого угля, 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, слоистость горных пород, тип крепи, порядок отработки месторождения и т.п.) и определяют те трудности, которые связаны с обеспечением устойчивости выработок.

Определяющими факторами среди прочих являются геомеханические процессы, связанные с выемкой пласта и последующим обрушением залегающих в кровле пород (основной, непосредственной). Учет этих факторов привел к разработке и внедрению различных крепей, отличающихся особенностями конструкции, принципом работы, характером взаимодействия с окружающим массивом пород и т.д. Используемые крепи в ряде случаев дают положитель-

ный эффект, однако нельзя считать вопрос обеспечения устойчивости выработок в зоне влияния очистных работ решенным до конца.

Дата замера "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201 г.

Название выработки:

Положение очистного забоя: ПК \_\_\_\_\_

Номер замерн. станции	Положение замерной станции	Абсолютная отметка т. Ж, м	h1	h2	b1	b2
1	ПК _____					
2	ПК _____					
3	ПК _____					
4	ПК _____					
5	ПК _____					
6	ПК _____					
7	ПК _____					
8	ПК _____					
9	ПК _____					
10	ПК _____					
11	ПК _____					
12	ПК _____					
13	ПК _____					
14	ПК _____					
15	ПК _____					
16	ПК _____					
17	ПК _____					
18	ПК _____					
19	ПК _____					
20	ПК _____					
21	ПК _____					

Рис. 2.5. Ведомость замеров

Исследование характера деформирования металлической арочной крепи в условиях воздействия очистных работ включало в себя всесторонний многоэтапный анализ результатов, проведенных согласно принятой методике п. 2.3.3.

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 (принималась 5 м) и длина участка с разрушенной крепью;

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

На следующем этапе проводились инструментальные измерения, в процессе которых определялись смещения кровли, почвы и боков выработки. По результатам шахтных исследований построены зависимости, приведенные на рис. 2.6...2.9. Длина экспериментальных участков в конвейерных выработках составляет 200 м, в воздухоподающих – 100 м.

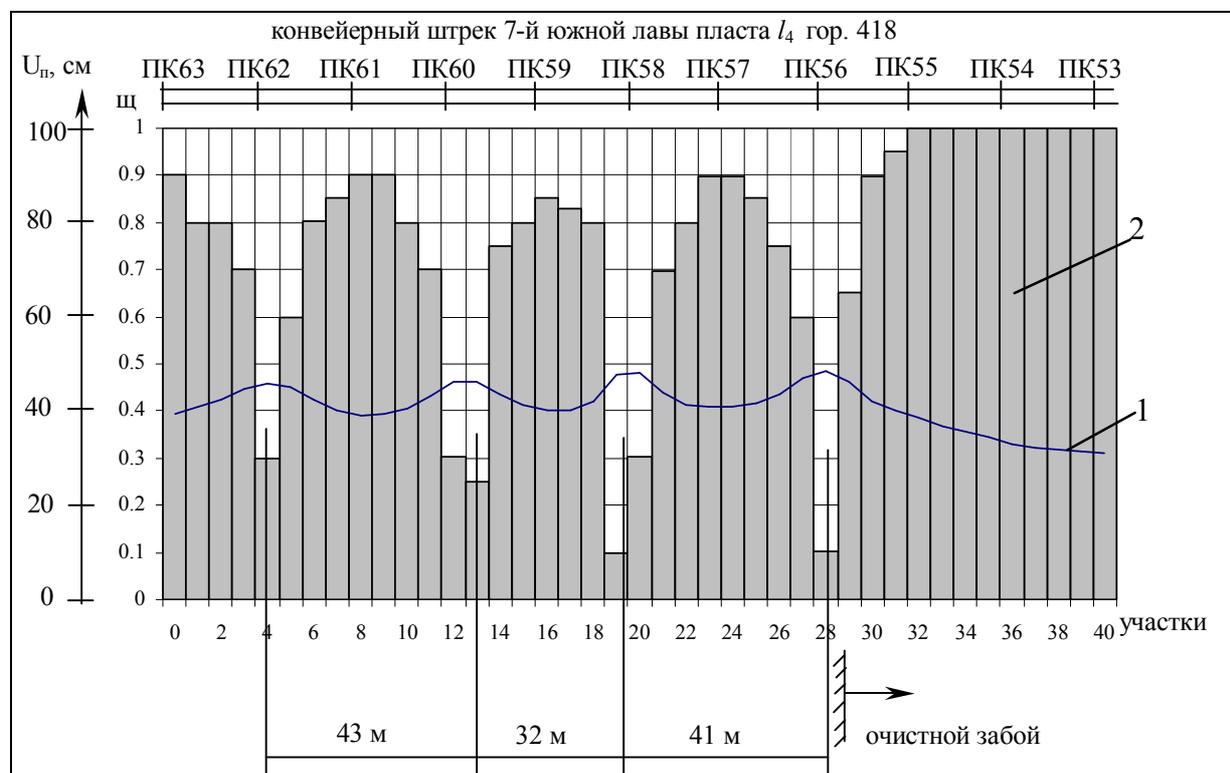


Рис. 2.6. Изменение величины поднятия почвы (1) и показателя устойчивости (2) по длине выработки

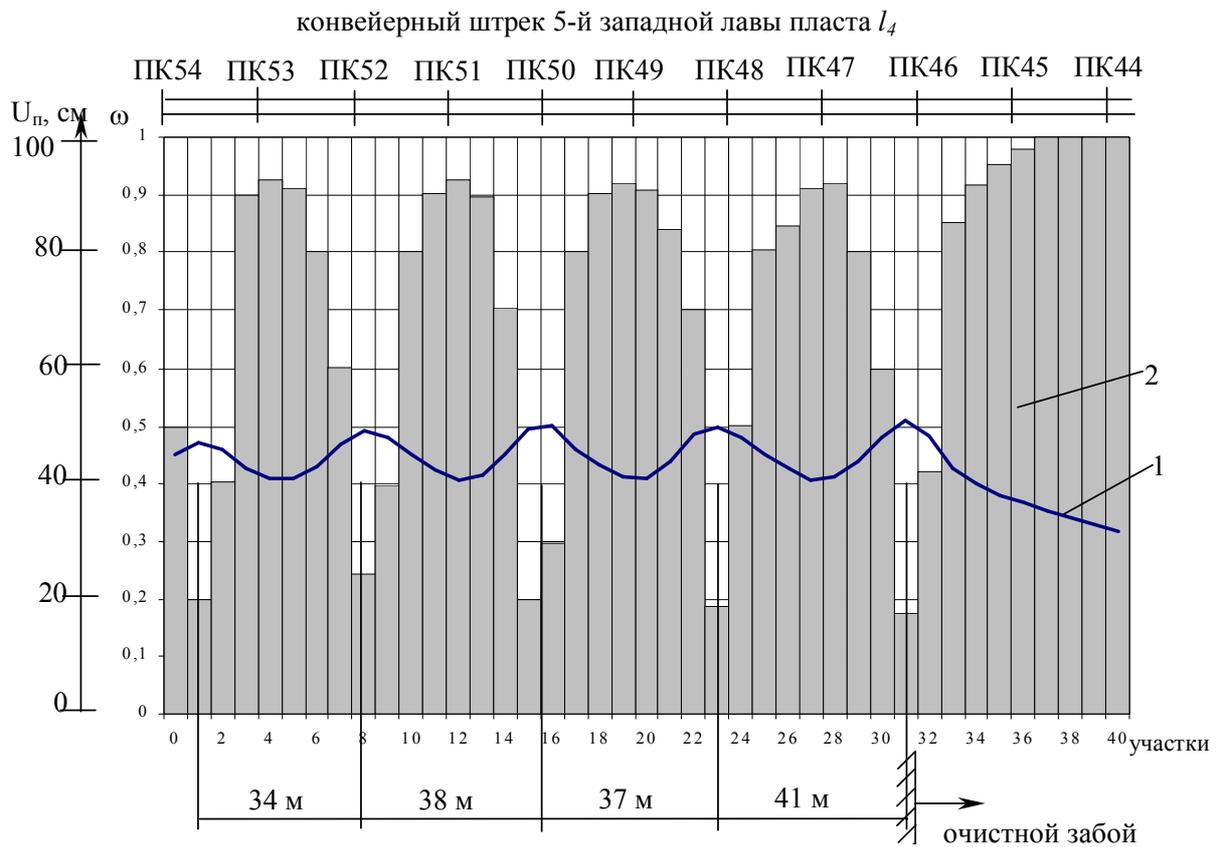


Рис. 2.7. Изменение величины поднятия почвы (1) и показателя устойчивости (2) по длине выработки

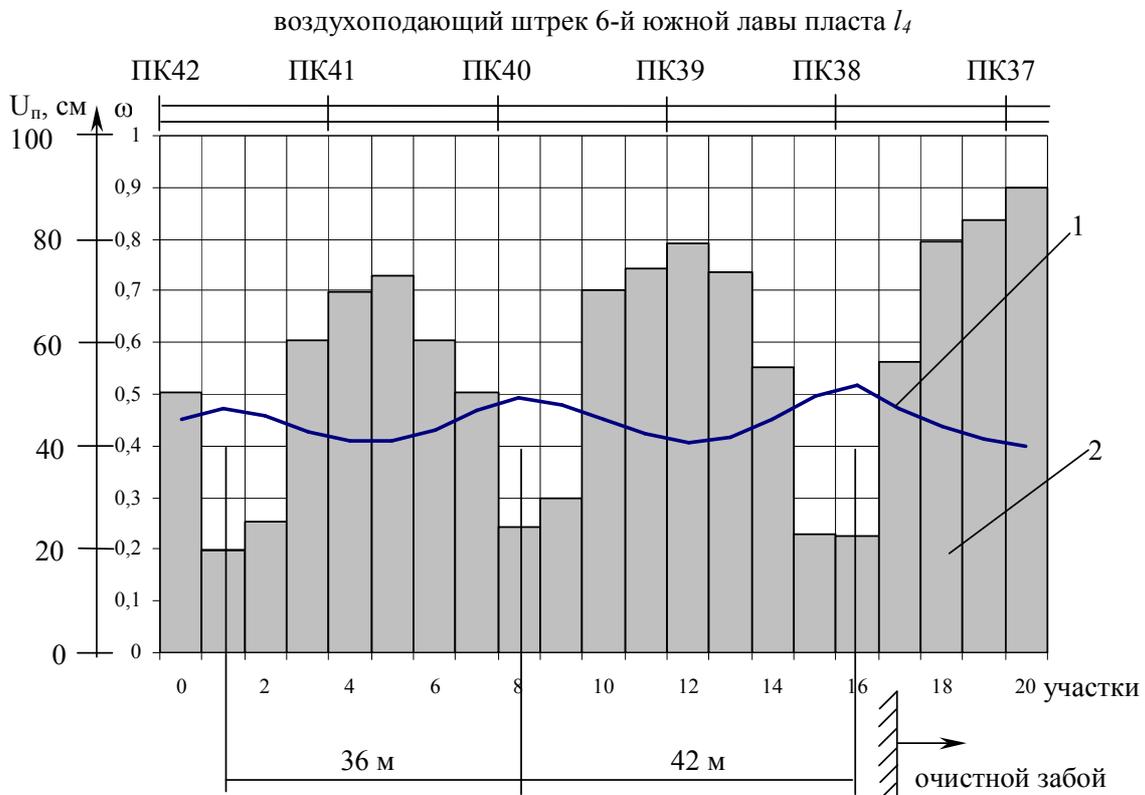


Рис. 2.8. Изменение величины поднятия почвы (1) и показателя устойчивости (2) по длине выработки

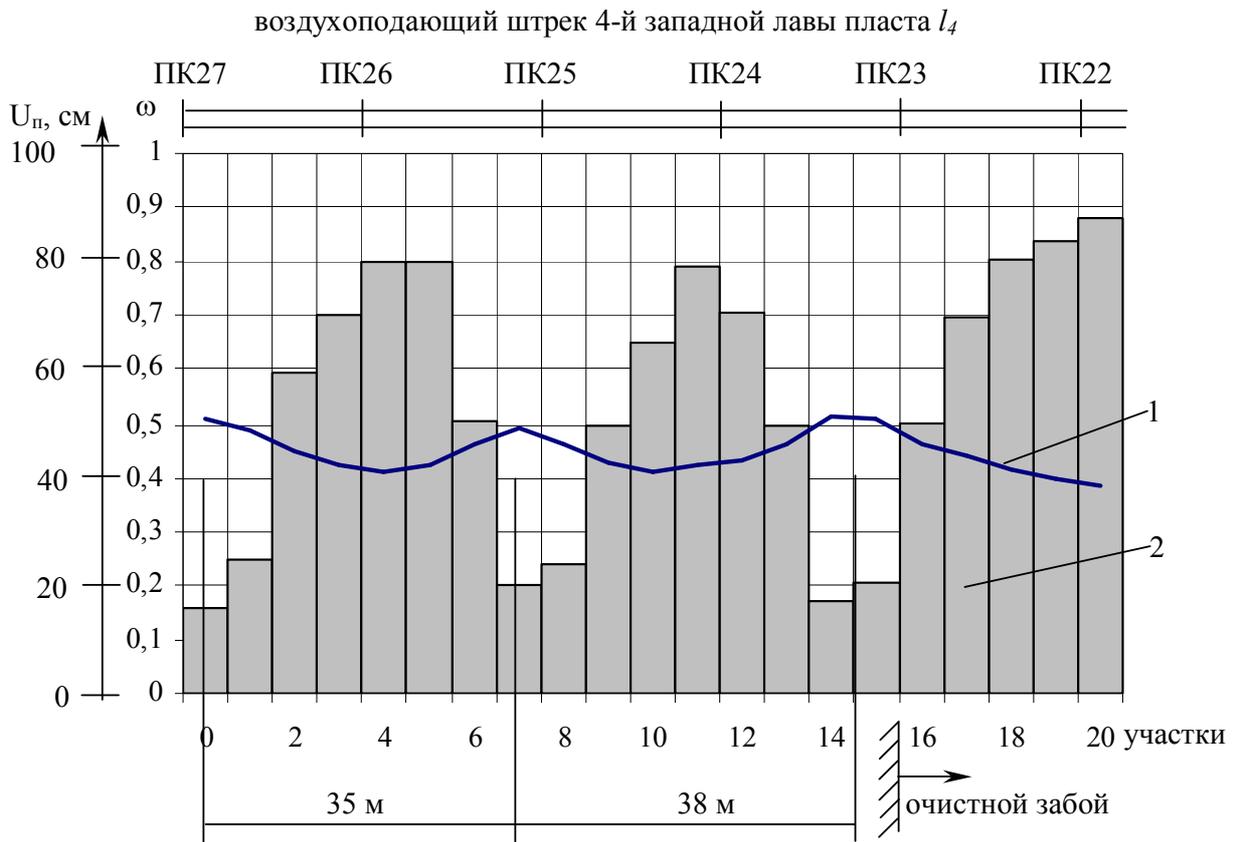


Рис. 2.9. Изменение величины поднятия почвы (1) и показателя устойчивости (2) по длине выработки

Анализируя данные о состоянии подготовительных выработок, результаты выполненных визуальных обследований и инструментальных измерений можно отметить следующее.

Данные горно-геологических условий разработки и свойств вмещающих пород показывают, что исследуемые на ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса» выработки находятся в достаточно сложных условиях эксплуатации.

Средние и 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 выработок в эксплуатационном состоянии.

Детальному визуальному обследованию были подвержены участки выработок общей протяженностью 2620 м. Основными причинами потери устойчивости арок являются: прогибы верхняков, изгибы ножек, разрывы профиля ножек в местах соединения их с верхняком, разрывы соединительных хомутов, наклон рам, разрушение затяжки, вываливающиеся куски породы, вплоть до “сундуков”, ярко выраженное пучение (коржение, трещины по центру выработки) и др.

Следует отметить, что имеется ряд участков со значительным уменьшением поперечного сечения выработки, произошедшим как из-за нарушения крепи, так и из-за пучения пород почвы. Имеют место также

значительные проскальзывания в местах соединения верхняка и стоек друг относительно друга. Величина нахлестки превышает зачастую 1...1,5 м в каждом замковом соединении.

Анализ результатов инструментальных измерений показал следующее. Смещения пород почвы возрастают по мере приближения лавы и стабилизируются на некоторой максимальной отметке, величина которой различна на разных пикетах (участках) и колеблется от 400 до 500 мм. На рис. 2.6...2.9 для условий выработок, приведенных в п. 2.3.1, прослеживается явно выраженный волновой ее характер с шагом 32...43 м, что, по-видимому, связано с шагом обрушения основной кровли. Со временем волнообразные проявления горного давления со стороны почвы нивелируются и исчезают. Деформации же крепи сохраняют волнообразный характер разрушений. Показатель устойчивости для воздухоподающих выработок (повторно используемых) значительно ниже в сравнении с показателем устойчивости конвейерных выработок ( $\omega_в = 0,55$ ,  $\omega_к = 0,71$ ).

## **2.5. Анализ возможных мероприятий по борьбе с пучением почвы в подготовительных выработках в зоне влияния очистных работ**

Пучение пород почвы представляет собой разновидность деформаций приконтурного массива в подземных горных выработках, которые практически обнаруживаются как естественный процесс значительного уменьшения поперечного сечения выработок с нарушением крепи и рельсовых путей. При этом основная часть деформаций приходится на почву выработки.

Несмотря на то, что это один из наиболее распространенных видов проявлений горного давления, эффект вспучивания пород в подземных горных выработках является до настоящего времени наименее изученным, невзирая на выполненные многочисленные исследования.

В разные годы процессы пучения пород почвы изучались в ИГД им. А.А. Скочинского (Весков М.Н., Либерман Ю.М.), ДонУГИ (Заславский Ю.З., Комиссаров М.М., Киндур В.П.), ДГИ (Максимов А.П., Шашенко А.Н.), ДПИ (Кошелев К.В., Зборщик М.П.), ВНИМИ (Ардашев К.А., Бажин Н.П.), МГИ (Цымбаревич П.М., Черняк И.Л., Сонин С.Д., Шейхет М.Н.), ИГТМ АН Украины (Усаченко Б.М., Глушко В.Т.), КузПИ (Штумпф Г.Г., Западинский Л.А.), КарПИ (Векслер Ю.А.), КГМИ (Литвинский Г.Г.), ЛГИ (Смирняков В.В.), ВНИИОМШС (Друцко В.П., Косков И.Г. и др.). Но сложность проблемы горного давления вообще и пучения в частности не позволила до сих пор найти универсальное решение, которое могло бы удовлетворить требованиям сохранения эксплуатационного состояния горных выработок в зоне влияния очистных работ.

Современные методы и способы борьбы с пучением пород весьма разнообразны и нередко противоречивы. В одних условиях одни и те же способы эффективны, а в других – бесполезны, что является следствием неправильного подхода к различным случаям пучения пород, когда не учитывается физическая сущность протекающих явлений, с учетом всех горнотехнических факторов. Поэтому изучение различных форм проявления пучения пород в выработках,

испытывающих влияние выработанного пространства лавы, анализ имеющихся представлений о механизме вспучивания и разработка на этой основе конкретных мер борьбы с этим явлением являются важной научной и технической задачей, направленной на снижение стоимости сооружения и поддержания горных выработок угольных шахт и себестоимости добываемого угля.

Наличие многочисленных, порой противоречивых, трактований механизма пучения привело к довольно обширным рекомендациям по борьбе с этим катастрофическим явлением. Однако, несмотря на это, ощутимых положительных результатов в борьбе со вспучиванием пород в подготовительных выработках пока достичь не удалось.

Крепь в пучащих породах представляет всегда необходимую и весьма важную, однако, далеко не исчерпывающую меру борьбы с пучением, поэтому правильный выбор вида крепи для пучащих пород должен сочетаться с другими мерами борьбы, обеспечивающими снижение давления на крепь и сохранение естественной прочности пород.

Анализ литературных источников, отражающих развитие представлений о механизме пучения и, как следствие, развитие средств и способов борьбы с этим явлением, позволил проследить тенденции в разработке мероприятий, направленных на предотвращение пучения пород в подготовительных выработках.

Традиционным способом предотвращения поднятия почвы в горных выработках является применение крепей замкнутой конструкции. Замкнутость крепи достигается применением криволинейного элемента, если эта крепь не кольцевая. При металлических крепях – лежень; при бетонных и железобетонных – обратный свод.

Поскольку давление со стороны почвы нередко превышает давление со стороны кровли, это приводит к потере устойчивости нижних элементов, чрезмерным деформациям и разрушению крепи. Вероятно поэтому сведения об использовании замкнутых крепей для предотвращения пучения пород почвы зачастую являются противоречивыми.

В работе [13] указывается, что создать конструкцию жесткой крепи для условий пучащих пород невозможно, так как нельзя придать крепи такие размеры, при которых она будет в состоянии противостоять громадным давлениям пучащей породы. Гораздо рациональнее, применять какой-либо из видов податливой или упругой крепи.

Наиболее совершенной с точки зрения сопротивляемости ее нагрузкам в условиях пучения пород является кольцевая податливая или жесткая крепи. Но ее применение существенно усложняет технологию проведения выработок, увеличивает стоимость проходки и не всегда дает желаемый эффект.

Одной из важных мер борьбы с пучением является выбор рационального крепления выработок. В работе [14] предлагается управлять горным давлением так, чтобы повышенные напряжения в породах создавались не вблизи выработок, а на некотором расстоянии от них. Поэтому рекомендуется проводить новый штрек, а не восстанавливать старый, который может служить резервуаром для выдавливания пород.

На необходимость создания резервуаров для выхода вспученной породы указывается в работе [15], где рекомендуется при проведении штреков широким забоем возводить узкие бутовые полосы непосредственно у боков выработки, а более широкие – на небольшом расстоянии от них. Этим можно частично разгрузить почву в штреке, уменьшить пучение.

В Подмосковном бассейне был применен оригинальный способ борьбы с пучением пород – взрывание камуфлетных зарядов. При этом происходило уплотнение глины, и за счет этого повышена ее механическая прочность [16].

Имеющиеся сведения о фактических замерах величины давления пучащих пород на крепь со стороны почвы показали, что зачастую его величина превышает давление в кровле и боках выработки. Так, по данным В.Т.Глушко, в условиях глубоких шахт Донбасса нагрузка со стороны почвы на кольцевые жесткие крепи наибольшей величины достигла на 145 сутки и составила на отдельных измерительных кольцах от 30 до 53 т/м. При этом со стороны кровли она в среднем составила 18 т/м, а со стороны боков – 19,4 т/м. На податливых кольцах абсолютные значения давлений были ниже, чем на жестких и составляли, соответственно, в почве 20 т/м, а в кровле и боках – 13,7 т/м. Установление этого факта является важным этапом в развитии средств и способов борьбы с пучением.

В основе ряда представлений о механизме пучения лежит предпосылка о незначительной глубине зоны сдвижения пород в основании выработок. Исходя из этой предпосылки, возникла и получила широкое распространение идея применения анкерной крепи, как средства предотвращения выдавливания горных пород. В отечественной и зарубежной практике строительства горных предприятий накоплен значительный, в основном отрицательный, опыт укрепления пучащих пород в почве выработок анкерной крепью. Широкое применение получили железобетонные анкеры, представляющие собой металлический стержень, вставленный в шпур глубиной 1,5...2 м, после чего шпур заливается цементным раствором. Иногда применяются анкерные болты с расклинивающимися устройствами. Устанавливаются анкеры в шахматном порядке с расстоянием 1 м в рядах. Использование этой крепи показало, что она может быть эффективной только при определенных очень узких условиях, поэтому широкого применения она не нашла.

Наряду с применением различных конструкций анкерной крепи обращает на себя внимание довольно широкий диапазон параметров этого способа укрепления почвы. Причем, это вызвано не только различием горно-геологических условий, в которых применяется анкерная крепь, но и различной трактовкой исследователями механизма пучения и упрочняющего действия штанги. Так, Лыткин В.А., несмотря на мнение большинства исследователей, считал, что основное назначение штанг заключается не в скреплении пучащего слоя с нижележащими слоями прочных пород и создании таких усилий, которые могли бы противостоять напряжениям в пучащей породе, а в увеличении средневзвешенных показателей механических свойств пучащих пород [17]. По его мнению, величина пучения уменьшится даже в том случае, когда штанги полностью

расположены в слабых породах пучащего слоя и совершенно не связаны с прочными слоями.

Различие в условиях применения штанговой крепи, а также в трактовании механизма пучения, привели к тому, что в практике использовались анкера длиной от 2...2,5 м [18] до 4,5...6,5 м [19]. Плотность установки анкеров также изменялась в широких пределах: от 0,8 анкера на 1 м<sup>2</sup> почвы до 3,5 анкеров на 1 м<sup>2</sup> почвы [19].

Столь широкое различие в значениях параметров анкерной крепи обусловлено тем, что идея применения этого вида крепи не увязана с действительной природой процесса выдавливания. Как отмечает А.П. Максимов [20], нельзя ожидать эффекта от применения анкерной крепи, поскольку в процесс смещения вступают значительные по мощности слои горных пород в почве выработки, что заведомо предопределяет неэффективность укрепления почвы анкерами.

В технической литературе имеется много сведений о мощности слоев пород в почве выработок, вступающих в движение при пучении. При этом фактический материал был получен различными методами. Так, по данным инструментальных наблюдений автором работы [21] установлено, что пучение распространяется на глубину более 8 м. В работе [22] указывается, что глубина зоны смещений в однородных породах весьма значительная (12...15 м) и увеличивается по мере развития процесса выдавливания пород в выработку. Наблюдениями за деформациями горных пород в почве на шахтах Западного Донбасса установлено, что максимальное расслоение горных пород происходит на глубину 3,5...4 м [23], а затем затухает вглубь массива.

Анализируя обширный фактический материал, полученный при изучении нарушенности пород при проведении выемочных штреков по нижним пластам, А.В. Шмиголь утверждает, что в условиях Западного Донбасса мощность вовлекаемых пучением слоев пород достигает 6...7 м [24].

Выполненные А.П. Максимовым значительные объемы работ по радиометрическому зондированию почвы позволили установить, что зона смещения пород при их выдавливании в выработку достигает глубины 5 м и более [20].

Таким образом, несмотря на то, что при борьбе с пучением пород почвы накоплен определенный опыт применения анкеров, в целом же метод укрепления горных пород анкерами, как мера борьбы с выдавливанием их, не может быть рекомендован для широкого применения, за исключением некоторых частных случаев.

Наряду с укреплением пород почвы анкерной крепью довольно широкое распространение получил способ искусственного создания в почве выработок локальных областей пониженных напряжений. При этом указанные зоны могут создаваться как путем нарезки их специальными машинами [19], так и взрывощелевой разгрузкой массива.

Разгрузочные щели образуют обычно по центру выработки или с обеих сторон в ее боках.

Образованные механическим способом по центру выработки щели способствуют тому, что верхние слои пород не испытывают сжимающих напряже-

ний и собственным весом пригружают нижние слои, не давая им возможности деформироваться вверх. Со временем берега щели сходятся и процесс пучения начинает развиваться, хотя и с меньшей интенсивностью, чем на участках, где щели нет. Ее ширину рекомендуется принимать не менее 0,3 м, глубину – не менее половины ширины выработки. Для замедления процесса сближения берегов щели ее заполняют каким-либо пористым и достаточно прочным веществом, например, пенобетонами.

Кроме создания локальных областей пониженных напряжений при борьбе с пучением пород почвы используется энергия взрыва. При взрывании небольших зарядов ВВ в глинах образуются полости диаметром 0,45...0,5 м, за счет чего глина уплотняется. В результате этого замедляется процесс вспучивания, так как увеличивается прочность породы и идет процесс заполнения полостей глиной.

Выполненный анализ показывает, что разработанные на сегодняшний день мероприятия по предотвращению пучения пород почвы разнообразны, дают положительный эффект в зависимости от конкретных горно-геологических и горнотехнических условий. Очевидно, что для эффективного их применения в выработках, подверженных интенсивному влиянию очистных работ, необходимо разрабатывать комплексные меры по охране подготовительных выработок от резких проявлений горного давления, связанных, например, с обрушением основной кровли за лавой.

## **2.6. Анализ способов охраны и поддержания подготовительных выработок**

### **2.6.1. Анализ способов поддержания подготовительных выработок.**

Последние десятилетия существенно изменили схемы подготовки и разработки угольных пластов. Если раньше наиболее распространенным способом охраны подготовительных выработок являлись угольные целики и бутовые полосы (до 90 % протяженности выработок), то в настоящее время в Донбассе протяженность выработок, охраняемых бесцеликовыми способами, составляет около 80 % годового объема их проведения и только 18...19 % протяженности выработок охраняется целиками угля [25]. Примерно такое же положение и в других угольных районах стран СНГ.

В связи с отмеченным было пересмотрено традиционное мнение о роли целиков как об основном способе охраны подготовительных выработок на угольных шахтах и актуальной стала задача создания такой технологии разработки угольных пластов, при которой их охрана должна производиться без оставления угольных целиков и, как правило, без возведения бутовых полос, т.е. за счет рационального размещения их относительно очистных выработок и выбора таких крепей, которые обеспечивали бы рабочее состояние в течение необходимого срока службы.

Основные схемы поддержания выработок при бесцеликовой отработке пластов и относительные объемы их применения, а также доля неудовлетворительного состояния подготовительных выработок на шахтах Украины приведены в табл. 2.1 [8].

Основной объем применения способов поддержания выработок без оставления целиков угля приходится на системы разработки с сохранением штреков за лавой с целью их повторного использования, а также для подсыхания исходящей струи воздуха. При этом наибольшая протяженность выработок в неудовлетворительном состоянии, поддерживаемых за лавой, приходится на повторно используемые, наименьшая – на выработки, пройденные вприсечку к выработанному пространству. Это объясняется тем, что повторно используемые выработки поддерживаются в наиболее неблагоприятных 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 поэтому в меньшей степени испытывают влияние очистных работ.

Таблица 2.1

Анализ схем поддержания подготовительных выработок на шахтах Украины

Схема поддержания выработки	Удельный вес применения, %	Доля протяженности выработок с неудовлетворительным состоянием, %
Выработки, пройденные в массиве, за лавой погашаются	16,7	10,7
Выработки, пройденные в массиве, за лавой поддерживаются	27,7	14,6
Повторно используемые выработки, за лавой погашаются	18,7	20,0
Повторно используемые выработки, за лавой поддерживаются	7,5	20,6
Выработки, пройденные вприсечку к выработанному пространству	5,3	11,3
Выработки, пройденные за лавой	24,1	16,4

Горизонтальные и наклонные выработки, в основном, закреплены рамными податливыми крепями. В целом по угольным шахтам Украины 84,87% выработок закреплены металлической податливой рамной крепью, 6,27% – монолитным бетоном, 5,35% – сборным железобетоном, 1,69% – деревянной, 1,67% – другие виды крепи, 0,15% – анкерной.

В качестве средств усиления основной крепи, устанавливаемой в выработке в процессе проходки, используются: гидравлические стойки типа 2ГВС или 2ГСК; стойка трения постоянного сопротивления типа Т; стойка усиления типа КМП-4 с кулачковым замком; крепь усиления типа КУ; деревянные стойки; промежуточные рамы; металлическая крепь с дополнительными хомутами; стропильная крепь и др.

Важную роль в охране подготовительных выработок играют искусственные ограждения.

Искусственные ограждения в зависимости от характеристик жесткости разделяют на жесткие – органная крепь, литые полосы, целики угля, тумбы из блоков БЖБТ и их комбинации; податливые – бутовые полосы, выкладываемые вручную, чураковые стенки, деревянные костры из круглого леса, и ограниченно-податливые породные полосы, выкладываемые с помощью пневмозакладочных комплексов, бутокостры, костры из шпального бруса и сплошные накатные костры.

Бутовые полосы наиболее часто применяют при разработке тонких пластов на небольших глубинах. В большинстве случаев возведение бутовых полос производят вручную. Ручная выкладка бутовых полос отличается высокой трудоемкостью, большими затратами времени и низким качеством. При охране выработки односторонней бутовой полосой в результате сжатия полосы происходит неравномерное деформирование крепи выработки.

Костры из круглого леса возводят с меньшей трудоемкостью, чем бутовые полосы, но тоже вручную. Обычные костры с четырьмя узлами связи имеют большую податливость (40...50% мощности пласта). При их использовании величины смещений пород в выработке и состояние крепи будут примерно такими же, как при охране бутовыми полосами.

Меньшей податливостью и большей несущей способностью обладают костры из шпального бруса, сплошные шахтные костры и бутокостры. Охраняемые с их помощью выработки находятся в лучшем состоянии, чем при охране обычными кострами или бутовыми полосами.

Органная деревянная крепь в отличие от рассмотренных выше ограждений обладает небольшой податливостью и не только служит опорой, но и выполняет обрезающую функцию, т.е. обеспечивает своевременное обрушение пород кровли в выработанном пространстве. В отличие от податливых ограждений органная крепь начинает оказывать сопротивление опусканию пород сразу после установки. В случаях, когда сопротивление органной крепи недостаточно для удержания пород кровли от опускания или для обреза консоли зависающих пород, стойки органной крепи ломаются и в результате этого увеличивается нагрузка на крепь выработки.

Тумбы из железобетонных блоков (БЖБТ) так же, как органная крепь, являются жесткими ограждениями и выполняют роль опоры, обеспечивающей обрушение пород кровли в выработанном пространстве. Наиболее широко эти тумбы применяют в Донбассе [26].

Основные недостатки тумб из БЖБТ – высокая трудоемкость и небезопасность возведения вручную.

Литые полосы из быстротвердеющих материалов в отличие от тумб из БЖБТ возводят позади очистного забоя механизированным способом.

Жесткие литые полосы впервые начали применять в ФРГ. Затем они получили промышленное применение в Великобритании [27]. К основным достоинствам литых жестких полос наряду с полной механизацией их возведения относятся высокая несущая способность, обеспечивающая охрану выработок на пластах со средне- и труднообрушающимися кровлями, безопасность работ на

сопряжениях с очистными забоями и хорошая изоляция выработанного пространства.

Промышленное применение литых жестких полос на шахтах Украины сдерживается отсутствием специализированных средств механизации для их возведения. Экспериментально-промышленные испытания, проведенные на угольных шахтах Украины, показали возможность успешного применения полос из бетона с различными наполнителями (фосфогипсового вяжущего с песком и без него, природного ангидрита без наполнителей) и использования оборудования ПБМ-2Э и СБ-27 для их возведения пневматическим способом и оборудования “Монолит-20”, СО-10А – гидромеханическим способом.

Целики угля в целях охраны выработок, примыкающих к очистным забоям, применяют в случаях:

- охраны присечных выработок – шириной 2...4 м;
- охраны повторно используемых выработок со стороны падения шириной до 4 м (при отработке сдвоенных лаз в восходящем порядке), благодаря чему создаются необходимые условия для поддержания сопряжения и концевых участков лав;
- работы по технологической схеме с оставлением временного целика угля, который извлекается по мере подвигания лавы;
- охраны выработок со стороны восстания при неблагоприятном расположении плоскостей ослабления пород относительно оси выработки, что обеспечивает предотвращение вывалов пород кровли на сопряжении с очистным забоем.

Анализ известных схем поддержания подготовительных выработок, средств и способов повышения их устойчивости показывает, что наибольший положительный эффект дают комплексные мероприятия, направленные на упрочнение, оптимизацию геомеханических свойств породного массива и предупреждение его расслаивания.

### **2.6.2. Выбор рациональных способов охраны выработок, примыкающих к очистным забоям.**

Выбор рациональных способов охраны подготовительных выработок предопределяется 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.

Принимают наиболее рациональные способы охраны вентиляционных и откаточных штреков для пластов пологого и наклонного залегания с позиций геомеханики, метанообильности пластов и эндогенной пожароопасности в соответствии с табл. 2.2, где приведено восемь групп горно-геологических условий [28].

Представлены пять вариантов способа охраны выработок:

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 (2а – при их погашении за вторым очистным забоем, 2б – 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 (3а – при их погашении за вторым очистным забоем, 3б – 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;

В условном обозначении группы этих способов и средств обеспечения устойчивости выработок начальная буква обозначает: Л – легкая; Т – тяжелая (в зависимости от нагрузочных свойств основной кровли); У – устойчивая; Н – неустойчивая (в зависимости от степени устойчивости непосредственной кровли); П – прочная; С – слабая (в зависимости от несущей способности пород почвы).

Таблица 2.2

Рациональные способы охраны вентиляционных и откаточных штреков

Группа геологических условий	Схема проветривания		
	ВТ	ПТ	ПТОЗ
Рекомендуемые способы			
ЛУП	2а	2а	2а
ЛУС	4, 5а	3б, 5б	2а
ЛНП	2а	3б	2а
ЛНС	3а, 5а	3б, 5б	2а
ТУП	3а	3б	2б
ТУС, ТНП, ТНС	2а	2б, 5б	2б
Допустимые способы			
ЛУП	1, 3а, 5а, 5б	–	2а, 2б
ЛУС	1, 2а, 3а, 5б	2а	2б
ЛНП	1, 3а	2а	2б
ЛНС	1	3б	2б
ТУП	1, 2а	3б	2а, 2б
ТУС, ТНС	1, 3а	3б	2а
ТНП	1, 3а	3б	2а

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

### 2.6.3. Анализ причин неудовлетворительного состояния выработок в тяжелых горно-геологических и горнотехнических условиях в зоне влияния очистных работ.

В тяжелых горно-геологических и горнотехнических условиях поддержания выработок (большие глубины, слабые породы, тектонически нарушенные массивы, несоблюдение требований к креплению и охране выработок и др.) их состояние не является удовлетворительным. Происходит деформирование крепи, пучение пород почвы, уменьшение сечения и габаритов выработки до размеров менее допустимых и т.д. Для восстановления выработок требуется производить ремонт крепи и поддежку пород. В целях предотвращения негативных проявлений горного давления выполняют либо профилактический ремонт крепи, либо специальные мероприятия по борьбе с пучением пород. Для характеристики условий поддержания выработок, предопределяющих проведение специальных мероприятий по обеспечению эксплуатационного состояния горных выработок, используют безразмерный коэффициент  $\Omega = \gamma H / R_c$ , где  $H$  – глубина расположения выработки от поверхности, м;  $\gamma$  – удельный вес пород, т/м<sup>3</sup>;  $R_c$  – временное сопротивление пород сжатию, МПа [29].

В общем случае рассматривают  $R_{c.cр}$  для оценки критерия, обуславливающего необходимость проведения мероприятий по борьбе с пучением.  $R_{c.cр}$  – среднее временное сопротивление пород сжатию, слагающих горный массив МПа.

Критерий  $\Omega$  в обобщенном виде можно использовать и для общей оценки сложности горно-геологических условий, имея в виду, что выработки поддерживаются только основной крепью.

При применении мероприятий по управлению горным давлением с помощью замкнутых крепей, упрочнения пород почвы (анкерование, химическое упрочнение, цементация) или разгрузки массива от повышенного горного давления область эксплуатационного состояния выработок расширяется и характеризуется показателями  $\Omega^1 = k\gamma H / R_c$ , где  $k$  – коэффициент, учитывающий способ охраны выработки и применяемые специальные мероприятия 1,1...1,6 (табл. 2.3).

При заданных технических решениях в горно-геологических условиях, превышающих значения  $\Omega^1$ , эксплуатационное состояние выработок будет неудовлетворительным. Но и при значениях  $\Omega^1$ , равных или менее указанных в таблице, при несоблюдении комплекса технических требований также могут возникать условия для ухудшения состояния выработок.

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;

Таблица 2.3

Значение критерия  $\Omega^1$  в зависимости от способа охраны выработки и применяемых специальных мероприятий

Способы охраны выработок	При от-сутствии меро-приятий	Специальные мероприятия			
		Примене-ние замк-нутых кре-пей	Анкеро-вание	Взрыво-щелевая разгрузка	Разгруз-ка сква-жинами
Поддержание в массиве с погашением за забоем лавы	20	24	24	24	32
Сохранение для повторного использования	14	18	18	18	20
Проведение вприсечку к выработанному пространству	26	30	30	30	36
Оформление выработок за лавой в выработанном пространстве	32	36	–	36	–

- 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 надработке или подработке.

Выполненный анализ показывает, что причиной неудовлетворительного состояния подготовительных выработок в зоне влияния выработанного пространства является недостаточное геомеханическое обоснование выбранных способов поддержания выработок и охраны их от скачкообразных, внезапных проявлений горного давления.

## **2.7. Разработка способа охраны и поддержания подготовительной выработки в условиях ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса»**

Опыт работы ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса» 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.

Поскольку на ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса» применяемый способ охраны и поддержания подготовительных выработок не обеспечивает достаточную их устойчивость, то на основе выполненных выше анализа был предложен новый способ повышения устойчивости подготовительных выработок с пучащей почвой (рис. 2.10).

Он заключается в том, что при проведении выработки формируют раскоску, арочную крепь усиливают установкой двух анкеров, а перед отработкой лавы формируют податливое ограждение со стороны массива и со стороны лавы путем взрывания камуфлетных зарядов вне зоны опорного горного давления. После отработки лавы раскоску заполняют пучащими породами почвы выработки, далее обрабатывают очередную лаву (Патент на винахід 69235 Україна від 25.06.07; Бюл. №9).

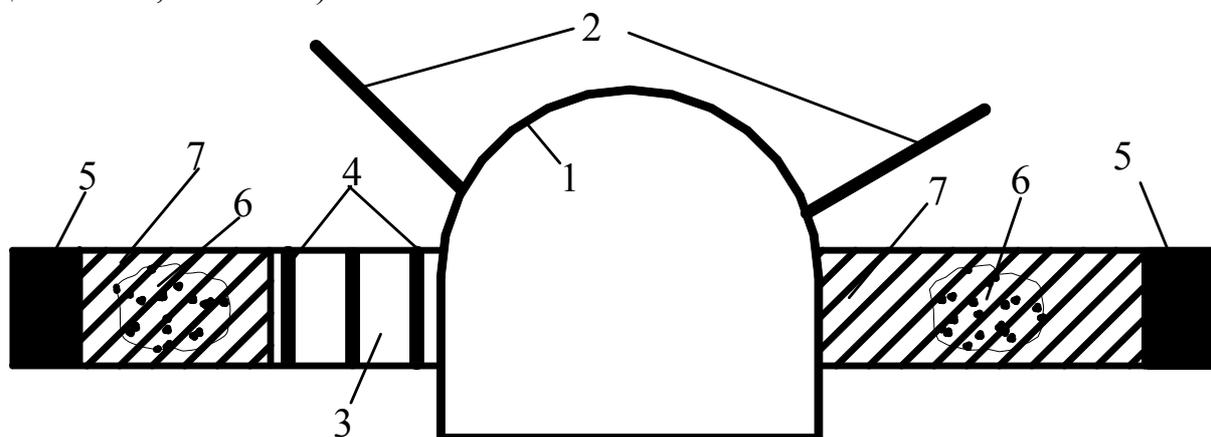


Рис. 2.10. Технологическая схема нового способа повышения устойчивости подготовительных выработок в пучащих породах: 1 – арочная крепь; 2 – анкерная крепь; 3 – раскоска; 4 – крепь в раскоске; 5 – лавы; 6 – камуфлетное взрывание; 7 – целики.

Новый способ повышения устойчивости подготовительных выработок может использоваться при пологом залегании пород. Камуфлетное взрывание приводит к снижению напряжений массива вокруг подготовительной выработки и уменьшению величины поднятия почвы выработки. Установка анкеров уменьшает величины горизонтальной и вертикальной конвергенции в выработке и в раскоске. Наличие раскоски приводит к снижению затрат на транспортирование подрываемых пород и обеспечивает возможность поддержания необходимого сечения выработки.

Обоснование параметров (место, угол и количество устанавливаемых анкеров, величина раскоски, число и масса камуфлетных зарядов) 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.

Таким образом, сооружение и поддержание подготовительных выработок на ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса» осуществляется в достаточно тяжелых условиях: вмещающие горные породы, обладают низкой прочностью, слабой устойчивостью, теряют свою прочность при насыщении их водой, склонны к пучению, имеет место ряд геологических нарушений. Крепление, охрана и поддержание выработок в зоне влияния очистных работ типовыми арочными крепями в условиях ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса» не

обеспечивает достаточную их устойчивость. Показатель устойчивости, рассчитанный для подготовительных выработок, составляет  $\omega_{cp} = 0,63$ . Ухудшение эксплуатационного состояния подготовительных выработок, иногда и полная потеря устойчивости, а также явно выраженный волновой характер смещения пород почвы, связаны предположительно с шагом обрушения основной кровли, который составляет 35...40 м. Успешное решение вопроса обеспечения устойчивости подготовительных выработок в зоне влияния лавы и повторного их использования может быть достигнуто при применении комплексного способа обеспечения устойчивости, охраны и поддержания штреков. Обоснование параметров способа охраны и поддержания подготовительных выработок сводится к изучению закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния приконтурного массива пород и определению ожидаемых смещений породного контура выработки, что предопределяет соответствующие величины: размеры охранного целика, параметры камуфлетного взрывания, количество и места установки анкеров.

### **ГЛАВА 3**

## **ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СПОСОБА ПОДДЕРЖАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ**

В качестве метода физического моделирования использован метод воспроизведения механических процессов на моделях из эквивалентных материалов.

### **3.1. Сущность метода моделирования на эквивалентных материалах.**

#### **Подбор материалов для моделирования условий ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса»**

Метод эквивалентных материалов применяют для изучения проявлений горного давления в очистных и подготовительных выработках при разработке месторождений полезных ископаемых и в подземных капитальных выработках; пучения пород, сдвижения массивов и других физических процессов, происходящих в массиве в связи с проведением в нем горных работ.

Исследование этих явлений с помощью аналитического метода и непосредственно на практике сопряжено с большими трудностями, поэтому использование метода моделирования имеет в данном случае большое теоретическое и практическое значение.

Метод подробно описан в работах Кузнецова Г.Н. [30], Ильштейна А.М. [31], Шашенка А.Н. [32], рекомендации которых были использованы при выполнении настоящих исследований, также позволяет выполнить условия механического подобия.

Сущность метода эквивалентных материалов заключается в том, что на физических моделях с известными допущениями и при соблюдении условий подобия изучают физические процессы и результаты этих исследований используют для разработки теории "механизма" процесса, а также практических рекомендаций для промышленности.

Теоретической основой для моделирования каких-либо физических явлений служит учение о подобии механических явлений.

Теория подобия позволяет устанавливать такие условия экспериментальных исследований в лабораторных условиях, что результаты последних можно переносить на другие явления, подобные рассматриваемому.

Метод эквивалентных материалов основан на использовании второго закона Ньютона и предполагает геометрическое, кинематическое и динамическое подобие.

Кроме того, необходимым элементом воспроизведения механических процессов является подобие граничных условий. Достоверность полученных результатов должна обеспечиваться достаточной представительностью экспериментов.

Целью моделирования является установление закономерностей изменения состояния области породного массива вокруг подготовительной выработки при использовании различных мер разгрузки массива.

Таким образом, с помощью эквивалентных материалов следует воспроизвести толщину горных пород, в которой образованы полости имитирующие подготовительную выработку и часть выработанного пространства.

Исходя из требований геометрического подобия и размеров лабораторного стенда, масштаб моделирования принимался 1:50.

Наиболее важным этапом соблюдения физической однозначности моделируемых процессов является подбор эквивалентных материалов

В общем случае при моделировании процессов механики горных пород должно быть обеспечено подобие следующих физико-механических характеристик эквивалентных материалов: прочности на сжатие, растяжение и изгиб, модуля упругости, сцепления при сдвиге, пластичности, а также реологических показателей. Одинаковыми по величине в модели и натуре должны быть коэффициент Пуассона и угол внутреннего трения.

Таким образом, при подборе материалов-эквивалентов в качестве определяющих характеристик прочности можно использовать совокупность значений временного сопротивления пород на сжатие  $R_{сж}$  и растяжение  $R_p$ . Для эквивалентных материалов эти характеристики ( $R_{сж.м}$  и  $R_{p.м}$ ) определяются зависимостью:

$$R_{сж.м} = \frac{l_m \gamma_m}{l_n \gamma_n} R_{сж.н} \quad (3.1)$$

$$R_{p.м} = \frac{l_m \gamma_m}{l_n \gamma_n} R_{p.н} \quad (3.2)$$

где  $R_{сж.м}$ ,  $R_{сж.н}$  – сопротивление сжатию эквивалентного материала и породы, МПа;

$R_{p.м}$ ,  $R_{p.н}$  – сопротивление растяжению эквивалентного материала и породы, МПа;

$l_m$ ,  $l_n$  – линейные размеры модели и области в натуре, м;

$\gamma_n$ ,  $\gamma_m$  – объемный вес материала природы и модели, т/м<sup>3</sup>.

Таким образом, объемный вес эквивалентного материала должен определяться зависимостью:

$$\gamma_m = \gamma_n \frac{R_{сж.м}}{R_{сж.н}} \cdot \frac{l_n}{l_m} \quad (3.3)$$

$$\gamma_m = \gamma_n \frac{R_{p.м}}{R_{p.н}} \cdot \frac{l_n}{l_m} \quad (3.4)$$

Для моделирования деформационных свойств горных пород использовались соотношения:

$$E_m = \frac{\gamma_m l_m}{\gamma_n l_n} E_n; \quad (3.5)$$

$$\mu_m = \mu_n,$$

где  $E_n, E_m$  – модуль упругости материала природы и модели, МПа;  
 $\mu_n, \mu_m$  – коэффициент Пуассона материала природы и модели.

Откуда:

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

В качестве эквивалентного материала была принята песчано-парафинографитовая смесь с добавлением технического вазелина [32, 33].

Можно указать на следующие положительные качества смесей, цементированных парафином.

1. Однородность изготавливаемых слоев в модели по всей их длине.
2. Удобство укатки слоев в модели, благодаря высоким пластическим свойствам смеси в горячем состоянии. В связи с этим обеспечивается возможность достаточно точно воспроизводить в модели масштаба 1 : 50 слои небольшой мощности.
3. Готовность модели к испытанию сразу же после ее остывания, т. е. через 1,5...2 ч после укатки последнего слоя.
4. Неизменность и независимость от влияния влажности механических свойств материалов модели при любой продолжительности испытаний.
5. Удобство обработки и подготовки образцов к пробным испытаниям механических свойств.
6. При смесях, цементированных только парафином, возможность повторного использования материала после испытаний в модели.

Наряду с этим такие смеси обладают и недостатками, из которых основными являются следующие.

1. Несколько занижены соотношения между пределами прочности на сжатие и пределами прочности на изгиб и растяжение.
2. В некоторых случаях занижены также против требуемых значения модулей упругости.
3. Несколько завышены пластические свойства в смесях, цементированных только парафином.

Приготовление эквивалентного материала выполнялось следующим образом.

Речной кварцевый песок тщательно просеивался и промывался для ликвидации посторонних примесей. Затем он рассыпался тонким слоем (1...2 см) на металлическом листе и в условиях лаборатории производилась его сушка в течение 5 дней. Каждые сутки песок несколько раз перемешивали с целью равномерного просыхания.

Сухой песок смешивался с соответствующим количеством измельченного парафина, порошкообразного графита и солидола. Полученную смесь тщательно перемешивали, укладывали в металлическую емкость с плотной крышкой и помещали в водяную баню, где смесь прогревали в течение 2...3 часов при температуре  $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$ . За это время ее 3...5 раз дополнительно перемешивали с целью равномерного прогрева.

Определение предела прочности при сжатии, модуля упругости и коэффициента Пуассона производили с помощью малогабаритного пресса в лаборатории кафедры строительства и геомеханики Государственного ВУЗ «Национальный горный университета». Указанный прибор позволяет регистрировать нагрузку и соответствующие ей деформации на образцах.

Объемный вес определялся путем измерения объема точной навески материала в мерном стеклянном цилиндре. Уплотняют материал постукиванием в течение 5 мин. Примерная навеска 500 г, цена деления цилиндра –  $2 \text{ см}^3$ . Методика проведения испытаний подробно описана в работах [34, 35].

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 ПАО «ДТЭК Шахта Комсомolec Донбасса». 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. Результаты испытаний приведены в табл. 3.1.

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 условий. 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 контура выработки и деформаций крепи являются достоверными только на ее средней части. Расстояние от подготовительной выработки до краевой части стенда составляло 25 см, размеры выработки: высота – 7 см, ширина – 10 см. Поскольку размеры стенда ограничены и изучалось поведение породного массива вокруг сопряжения «лава-выработка», очистная выработка моделировалась частично с размерами: высота – 2,2 см, ширина – 20 см.

Модель формировалась согласно структурной колонке паста  $l_4$  (рис. 2.1). Было смоделировано 7 слоев: один – угольный пласт, два – песчано-глинистый сланец и песчаник в почве, четыре – глинистый сланец и песчано-глинистый сланец в кровле.

Нагрузка в модели задавалась только сверху в пределах от 0 до 8,0 кН.

Приборы, имитирующие работу крепи в моделях, должны, с одной стороны, обеспечивать основные требования геометрического, кинематического и силового подобия, а с другой стороны, воспроизводить в модели в нужной последовательности и в соответствующих местах выработки все операции по установке, снятию и передвижке крепи в условиях, близких к натурным.

Таблица 3.1

Основные физико-механические параметры горных пород и эквивалентных материалов

Характеристика материала		Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Объемная масса, т/м <sup>3</sup>
Песчаник	модель	0,4...0,45	$(0,02...0,022) \cdot 10^4$	0,205...0,215	1,9...2,2
	натура	58...63	$(1,45...1,55) \cdot 10^4$	0,21	2,5
Глинистый сланец	модель	0,22...0,28	$(0,018...0,019) \cdot 10^4$	0,235...0,245	1,8...2,0
	натура	37...42	$(1,25...1,3) \cdot 10^4$	0,24	2,4
Песчано-глинистый сланец	модель	0,21...0,27	$(0,015...0,016) \cdot 10^4$	0,23...0,24	1,6...1,9
	натура	35...40	$(1...1,15) \cdot 10^4$	0,24	2,3

В качестве основной крепи подготовительной выработки использовалась модель крепи из тонколистовой (толщиной до 0,5 мм) нержавеющей стали, которая работала в податливом режиме с постоянным сопротивлением. Механизированная крепь очистной выработки моделировалась с помощью пенопласта. Анкерная крепь изготавливалась из медного провода. Технология установки анкеров была принята близкая к натурной, то есть шпур под анкер с геометрическими параметрами: длина анкера 50 мм, диаметр 0,5 мм, опорная плита 4 x 4 мм пробуривалась на модели после ее изготовления, в скважину шприцем вводили раствор, воспроизводящий действие закрепляющего раствора, а далее вставляли стержень, 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.

### 3.2. Методика формирования моделей и проведения экспериментов

Для выполнения работ по моделированию использовался специальный стенд (рис. 3.1), представляющий собой плоскую камеру с передней стенкой из оргстекла и систему рычажных домкратов. Внутренняя поверхность рабочей камеры стенда перед формированием модели тщательно протиралась графитовым порошком для уменьшения сил трения на контакте “эквивалентный мате-

риал – стекло”. Затем привинчивалась передняя крышка стенда, изготовленная из прозрачного оргстекла толщиной 30 мм. К верхней кромке крышки крепились ребра жесткости для предотвращения выпучивания оргстекла.



Рис. 3.1. Специальный стенд для плоского моделирования на эквивалентных материалах

Модель изготавливалась путем наращивания слоев снизу вверх. При этом для каждого слоя использовался эквивалентный материал, соответствующий прочностным и деформационным характеристикам породы в натуре согласно табл. 3.1.

Формировалась модель слоями толщиной 5...10 мм согласно масштабу моделирования. Готовая смесь в горячем состоянии перекладывалась в опалубку модельного стенда. С помощью граблей и гладилки достигалась равномерное разрыхление смеси и выравнивание поверхности слоя перед укаткой. Для создания “монолитности” исследуемой модели закатка эквивалентного материала производилась следующим образом: после укатки первого слоя поверхность его разграбливалась, 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 15 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.

После того, как модель породного массива сформировали, 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 наносилась с помощью шнура и мела прямоугольная мерная сетка с размерами ячейки 2 x 2 см и вы-

полнялись работы, связанные с проведением подготовительных и очистных выработок, установкой крепи и мероприятий по предотвращению пучения пород почвы. 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.

Целью моделирования было определить наиболее рациональные мероприятия для обеспечения устойчивости подготовительных выработок при проходе лавы с целью повторного их использования.

Моделировалась слоистая среда, которая воспроизводила горно-геологические условия пласта  $l_4$  (рис. 2.1) ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса».

Для исследований определены 7 основных ситуации:

1. Пластовая подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью, пройденная в массиве (рис. 3.2).

2. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью, при проходе лавы (рис. 3.3).

3. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью с усилением по центру выработки, при проходе лавы (рис. 3.4).

4. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью, при проходе лавы. В боках подготовительной выработки камуфлетное взрывание (рис. 3.5).

5. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью, при проходе лавы. В боку подготовительной выработки со стороны массива раскоса 2 м. В боках подготовительной выработки камуфлетное взрывание (рис. 3.6).

6. Так как и в варианте 5, только дополнительно установлен со стороны лавы под углом  $30^\circ$  на высоте 2,0 м от почвы выработки сталеполимерный анкер длиной 2,5 м, жестко связанный с аркой (рис. 3.7).

7. Так как и в варианте 6, только дополнительно установлен со стороны целика под углом  $45^\circ$  на высоте 2,5 м от почвы выработки второй сталеполимерный анкер длиной 2,5 м, жестко связанный с аркой (рис. 3.8). Новый способ охраны и поддержания выработок, описан в п. 2.7.

Для определения угла и места установки анкеров было выполнено по 4 модели для каждого из вариантов. На основе полученных данных определены рациональные величины углов наклона анкеров по отношению к горизонтали и места их установки, исходя из смещений контура выработки.

Для определения величины раскоски также было испытано 8 моделей ( $l_p=0,5...4,0$  м), для условий, описанных в ситуации 7. Критерий оценки – влияние размеров раскоски на величины горизонтальной и вертикальной конвергенции в подготовительной выработке.

Минимально необходимое количество испытаний одного варианта определялось по формуле, приведенной в работе [36]. Достаточное количество испытаний для каждого варианта составило 3,87.

Таким образом, учитывая довольно высокую однородность эквивалентного материала, испытания каждого из рассматриваемых вариантов должно было производиться не менее чем 4 раза. Фактически, с учетом отладки процесса моделирования и числа продублированных вариантов, было испытано 36 моделей.

Общий вид моделей при начальной и конечной нагрузках приведены на рис. 3.2...3.8.

По результатам исследования построены зависимости изменения величины вертикальной и горизонтальной конвергенции от величины нагружения рис. 3.9...3.16.

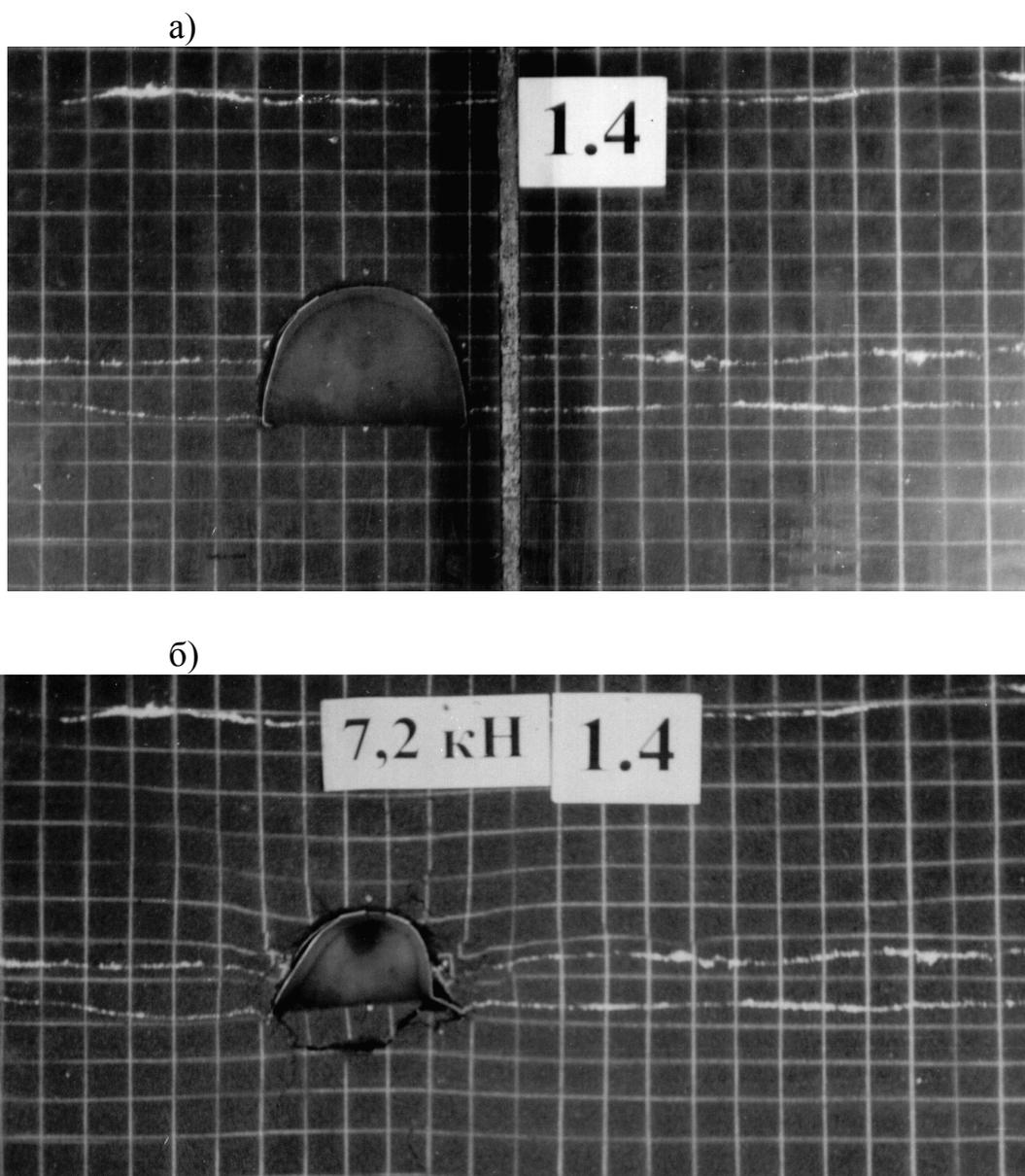


Рис. 3.2. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (ситуация 1)

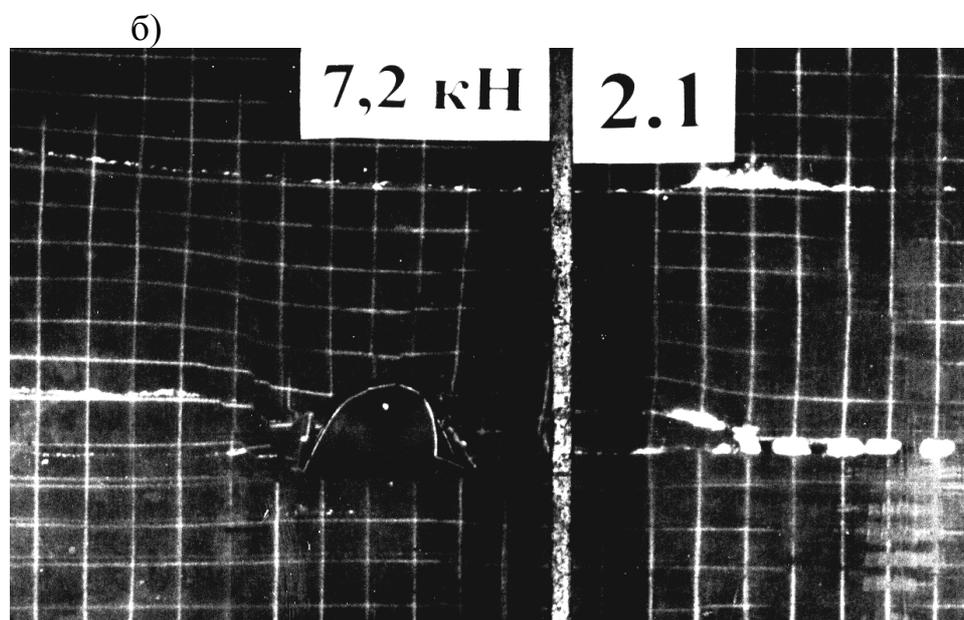
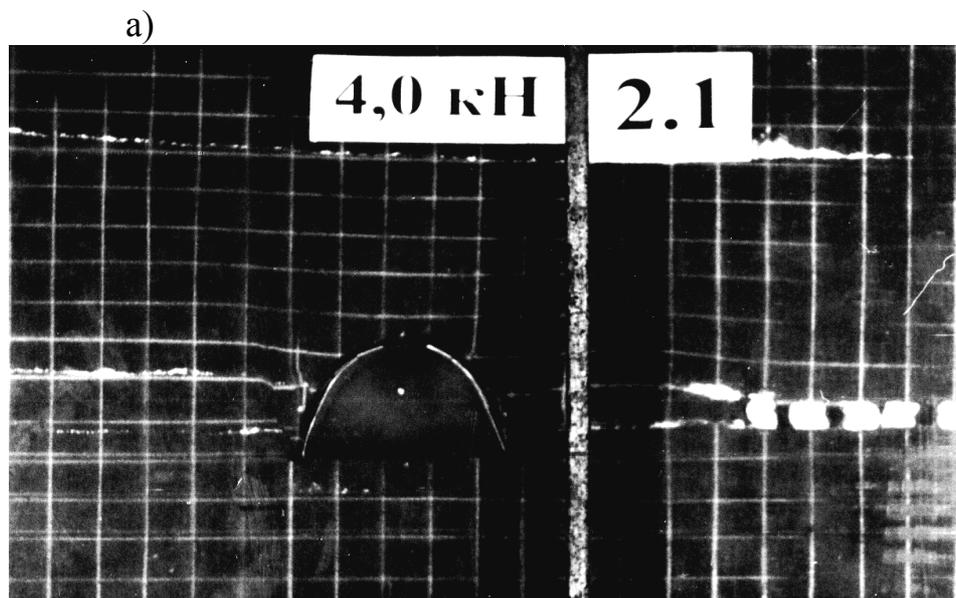


Рис. 3.3. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (ситуация 2)

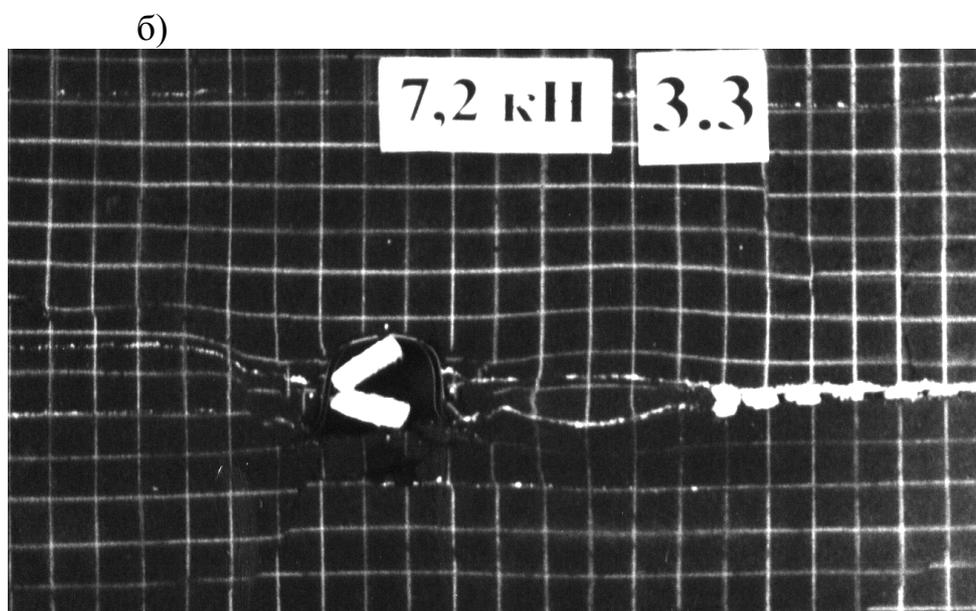
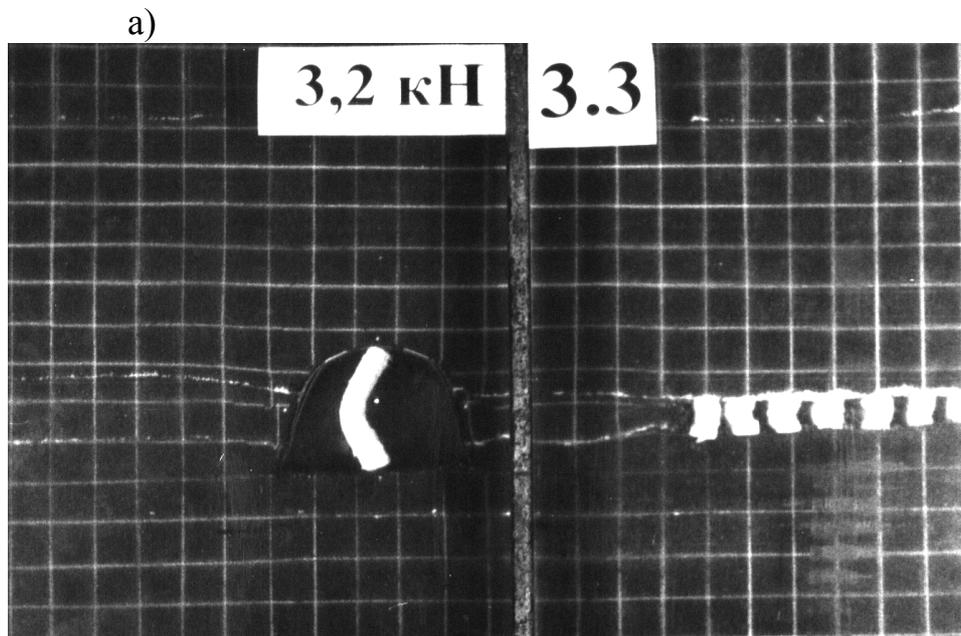


Рис. 3.4. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (ситуация 3)

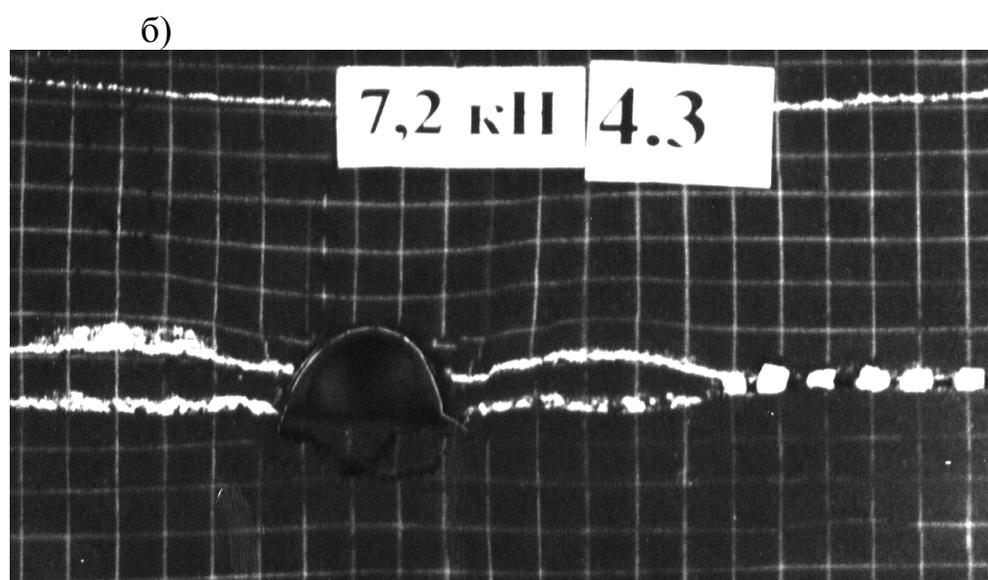
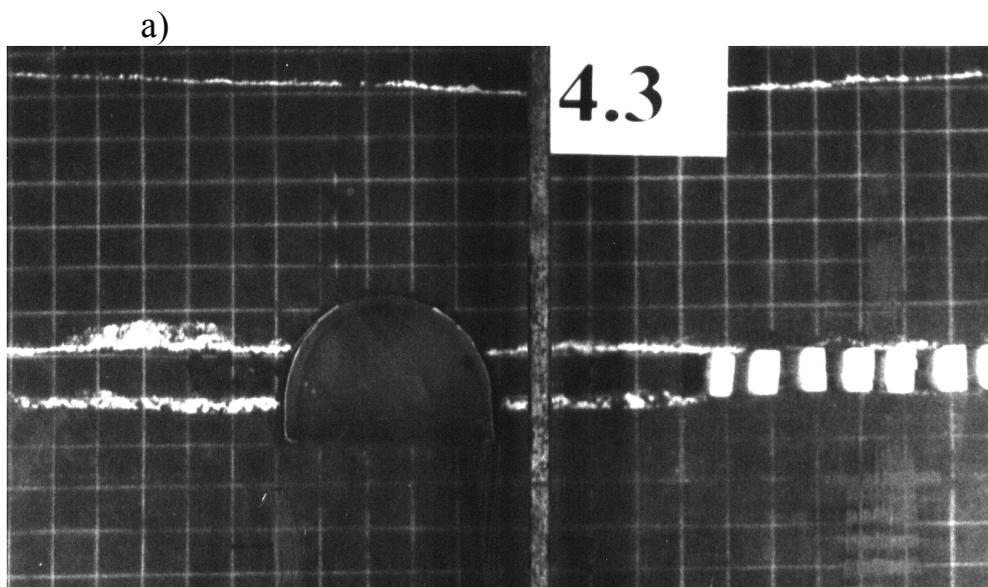
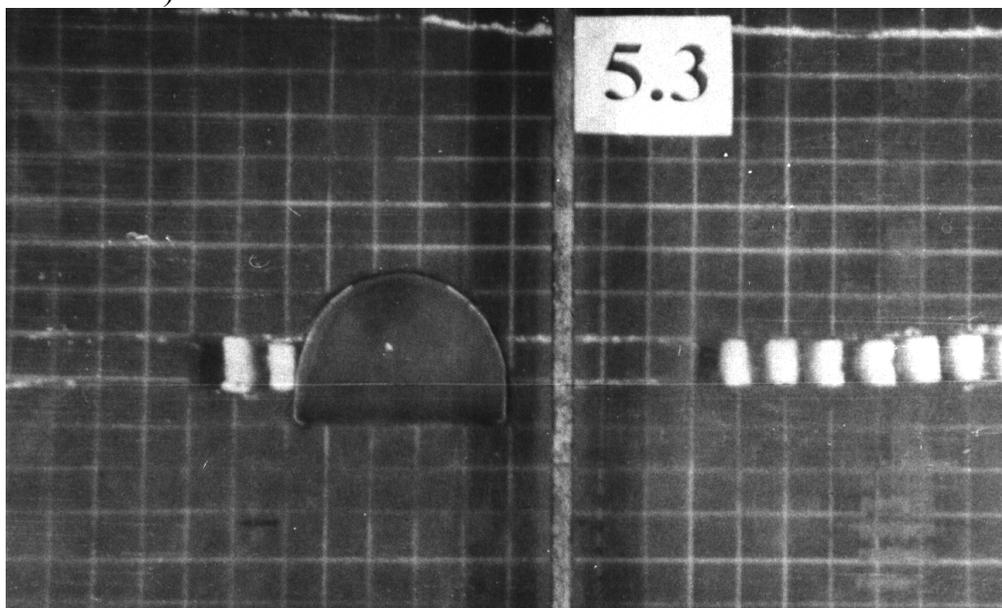


Рис. 3.5. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (ситуация 4)

а)



б)

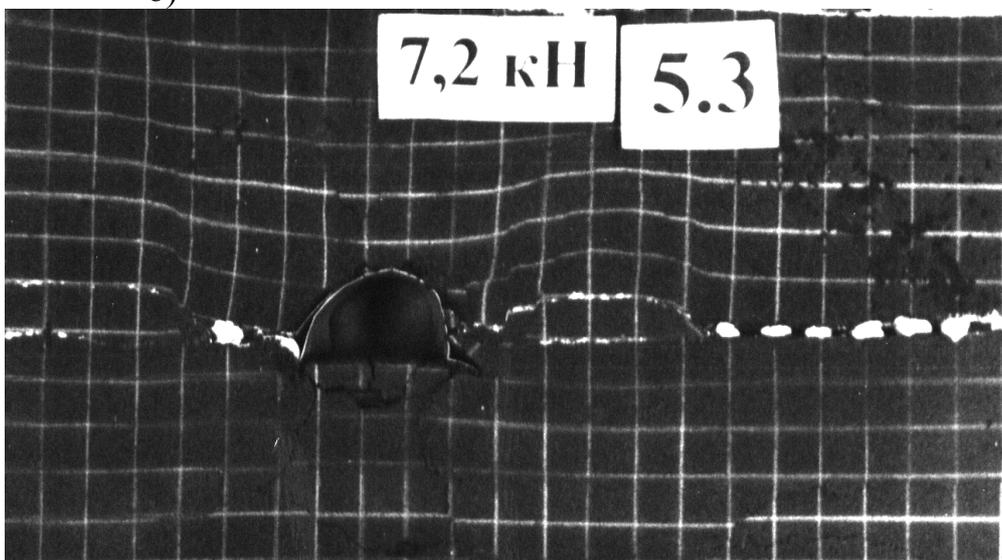


Рис. 3.6. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (ситуация 5)

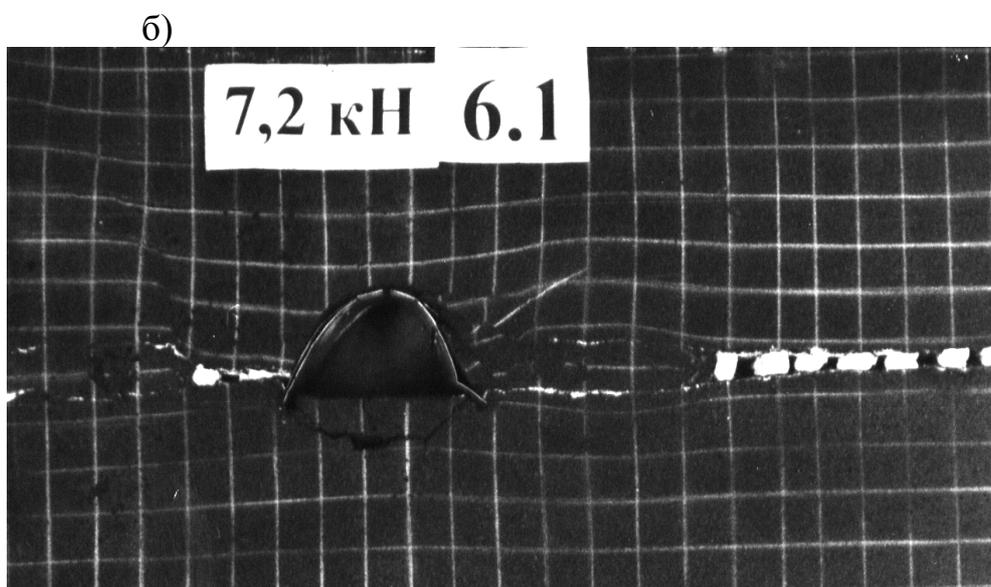
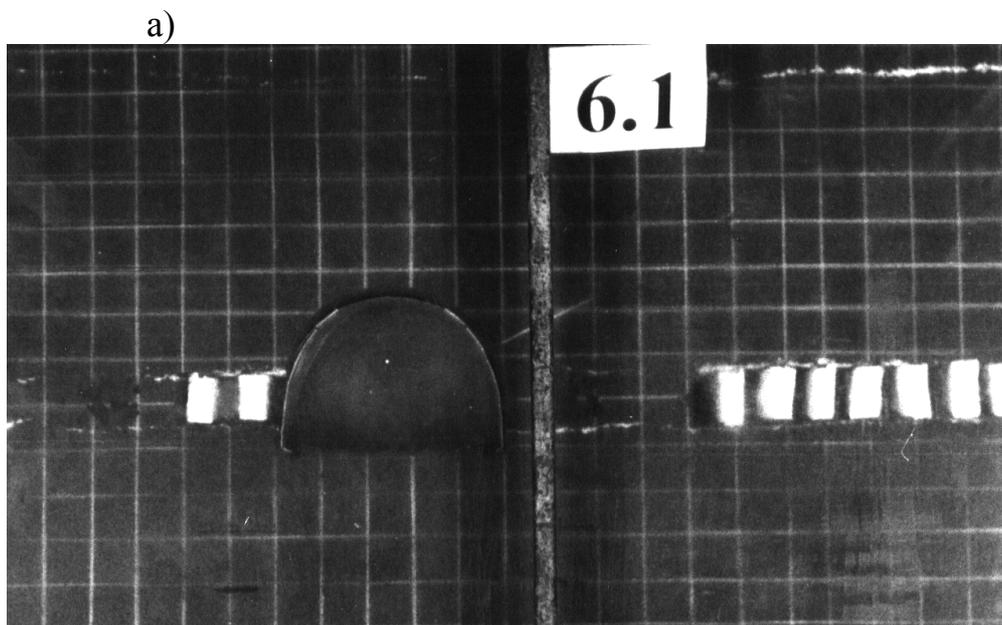
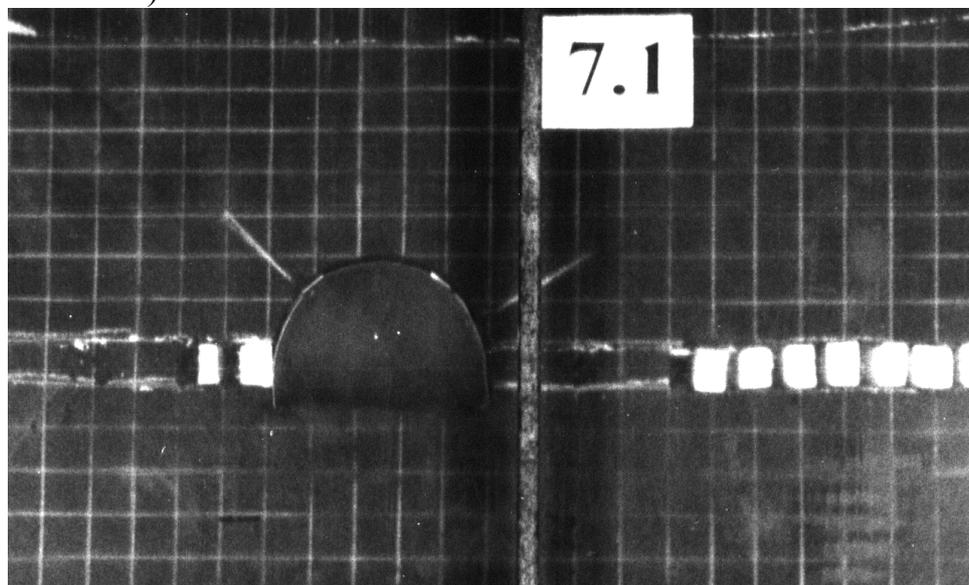


Рис. 3.7. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (ситуация б)

а)



б)

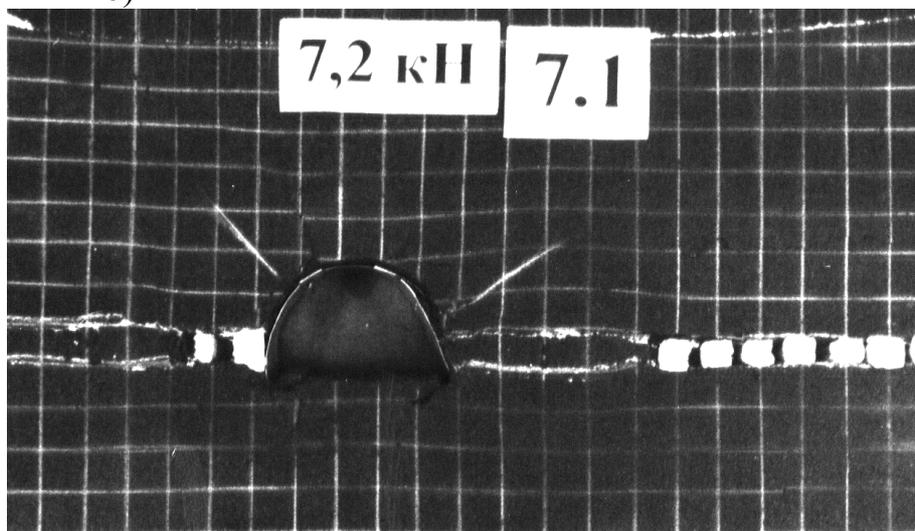


Рис. 3.8. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (ситуация 7)

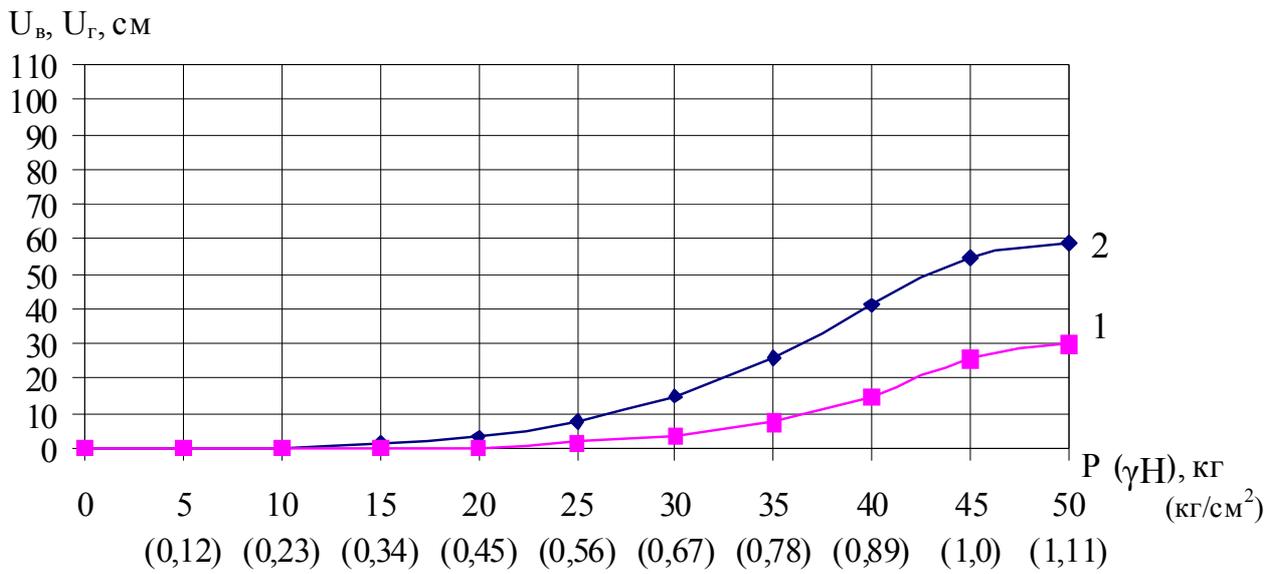


Рис. 3.9. Изменения величины конвергенции  $U$  в зависимости от величины нагружения (ситуация 1): 1 – горизонтальная конвергенция; 2 – вертикальная конвергенция

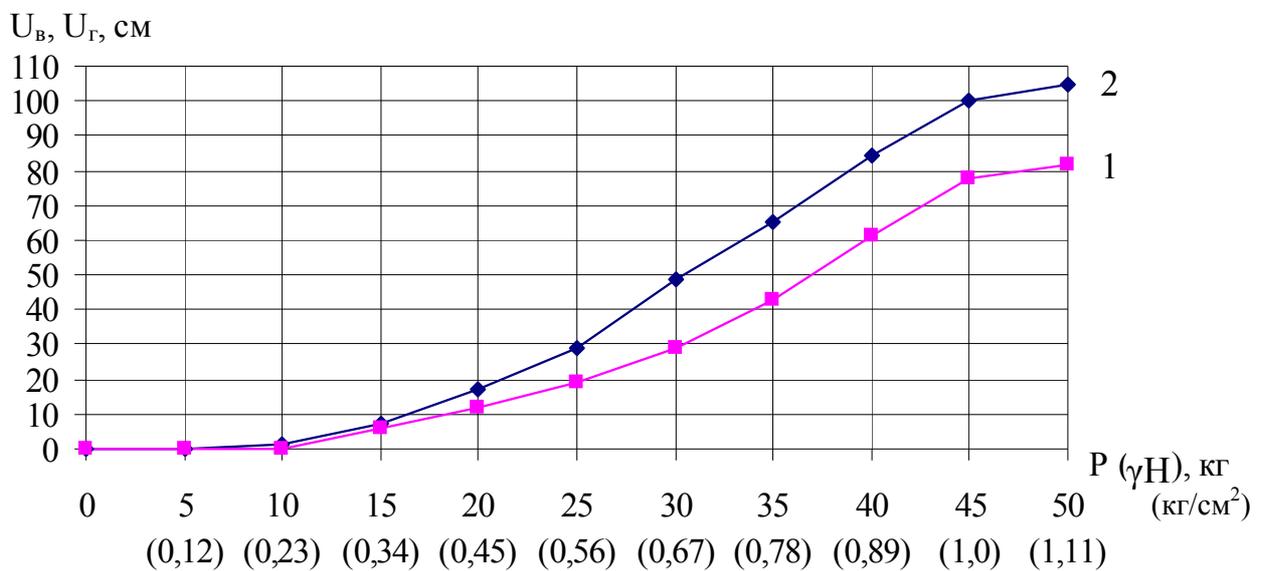


Рис. 3.10. Изменения величины конвергенции  $U$  в зависимости от величины нагружения (ситуация 2): 1 – горизонтальная конвергенция; 2 – вертикальная конвергенция

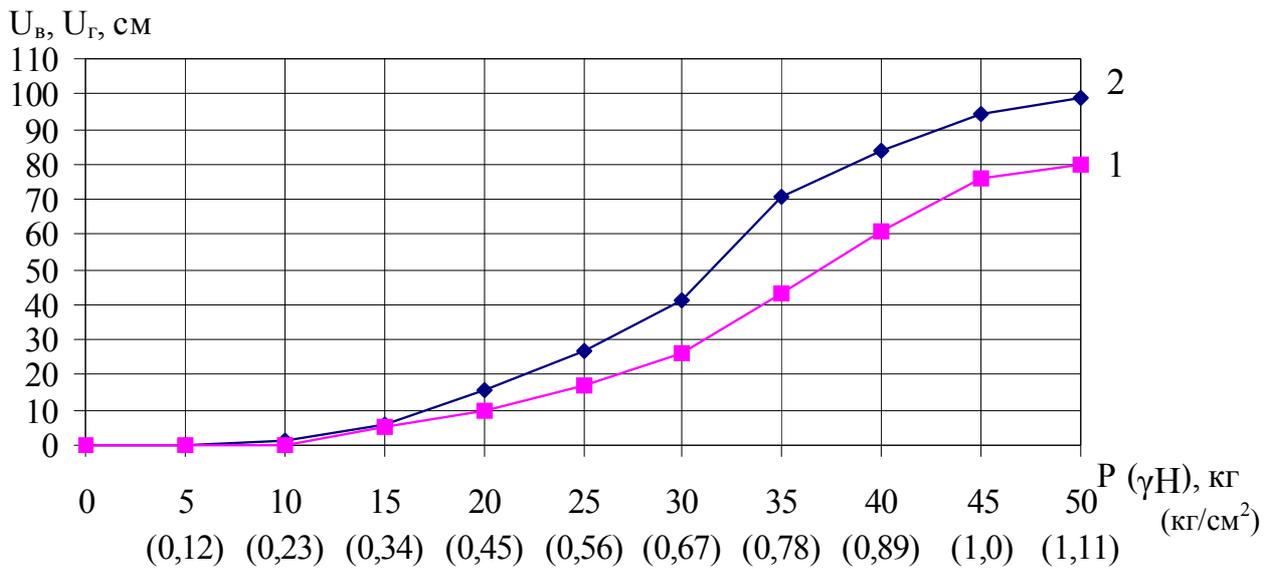


Рис. 3.11. Изменения величины конвергенции  $U$  в зависимости от величины нагружения (ситуация 3): 1 – горизонтальная конвергенция; 2 – вертикальная конвергенция.

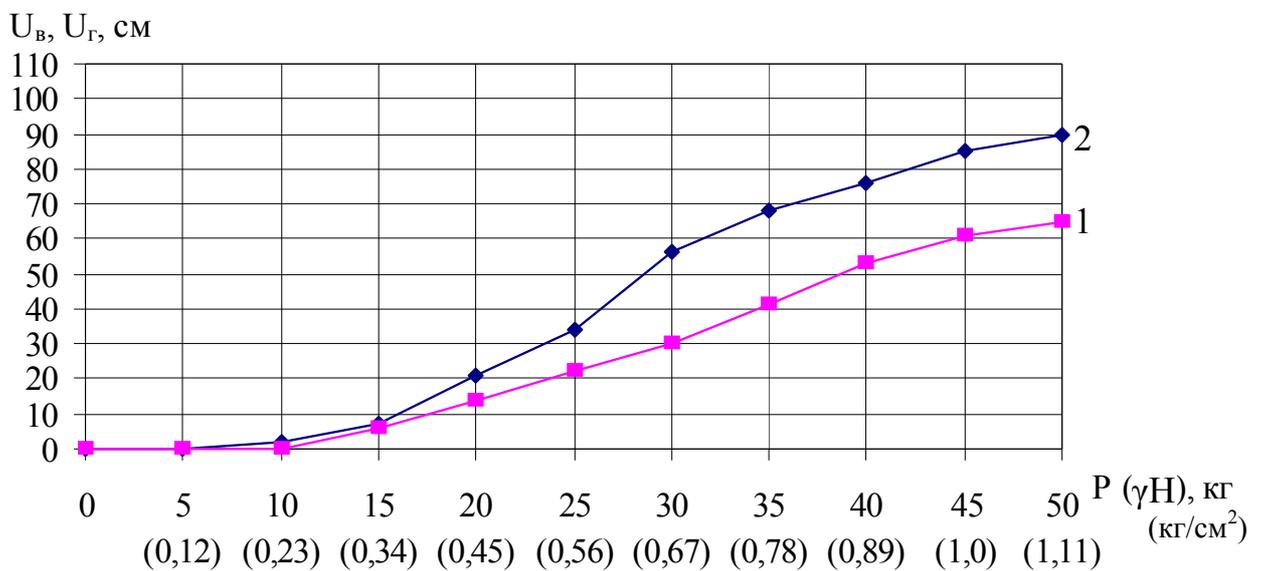


Рис. 3.12. Изменения величины конвергенции  $U$  в зависимости от величины нагружения (ситуация 4): 1 – горизонтальная конвергенция; 2 – вертикальная конвергенция.

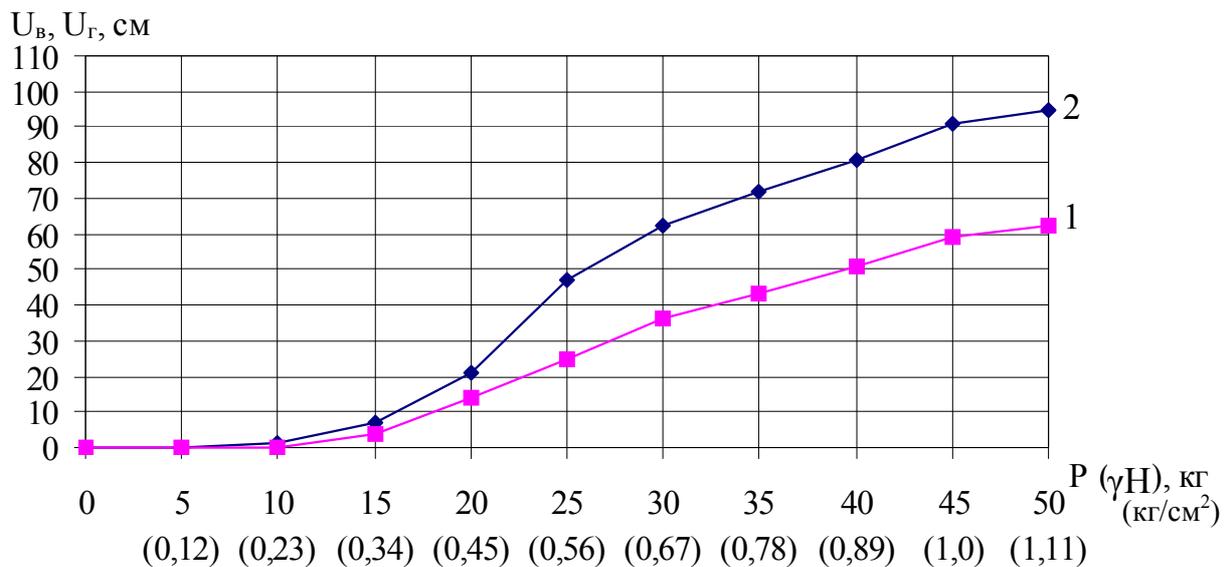


Рис. 3.13. Изменения величины конвергенции  $U$  в зависимости от величины нагружения (ситуация 5): 1 – горизонтальная конвергенция; 2 – вертикальная конвергенция.

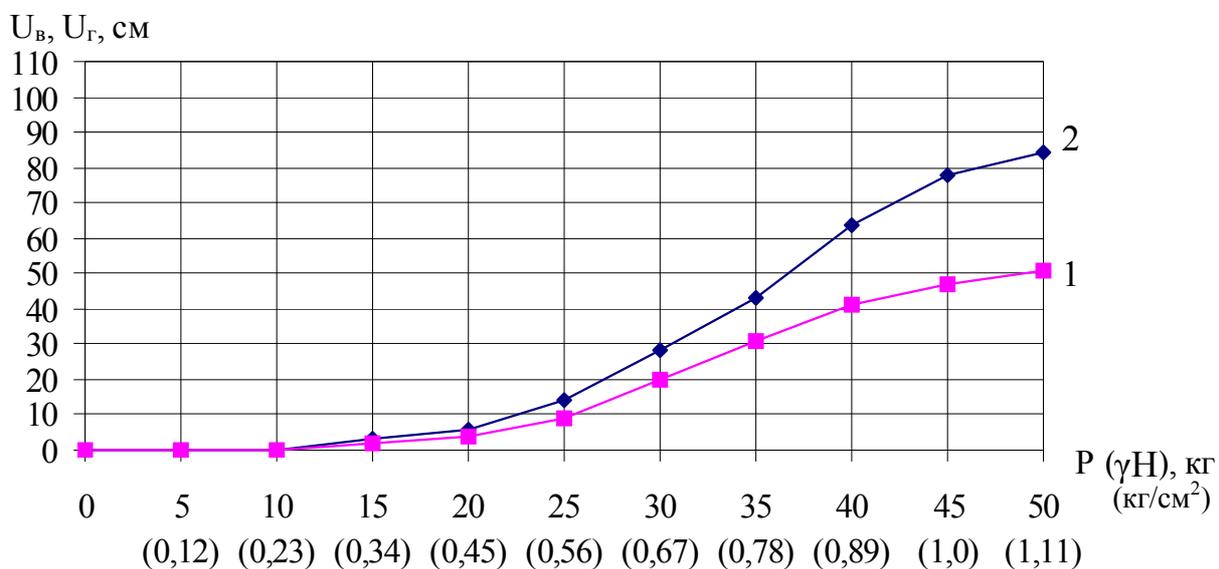


Рис. 3.14. Изменения величины конвергенции  $U$  в зависимости от величины нагружения (ситуация 6): 1 – горизонтальная конвергенция; 2 – вертикальная конвергенция.

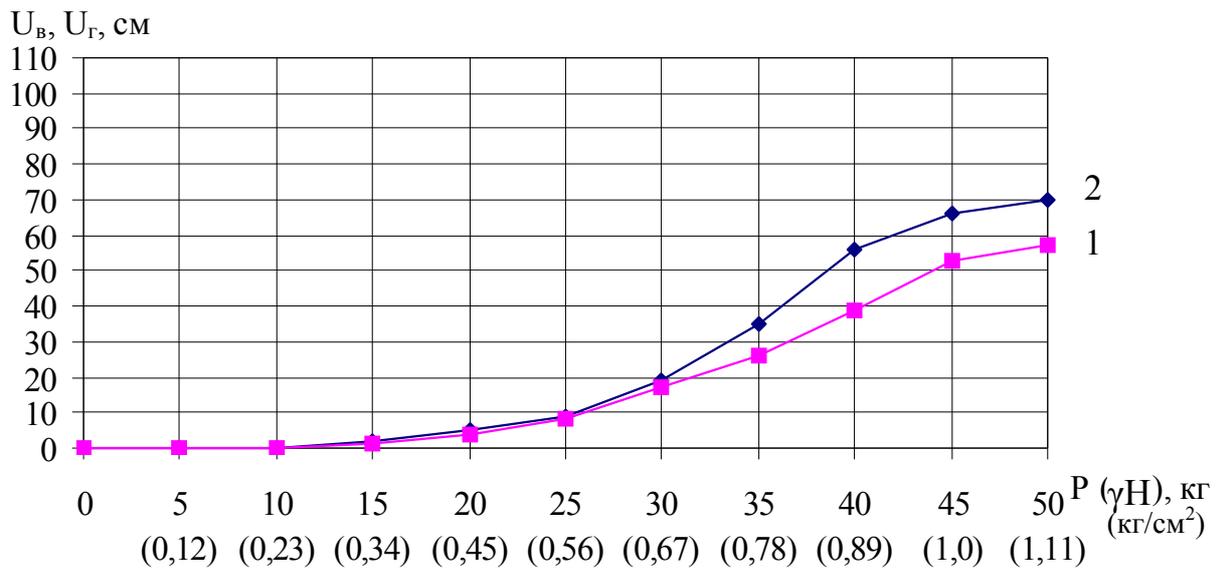


Рис. 3.15. Изменения величины конвергенции  $U$  в зависимости от величины нагружения (ситуация 7): 1 – горизонтальная конвергенция; 2 – вертикальная конвергенция.

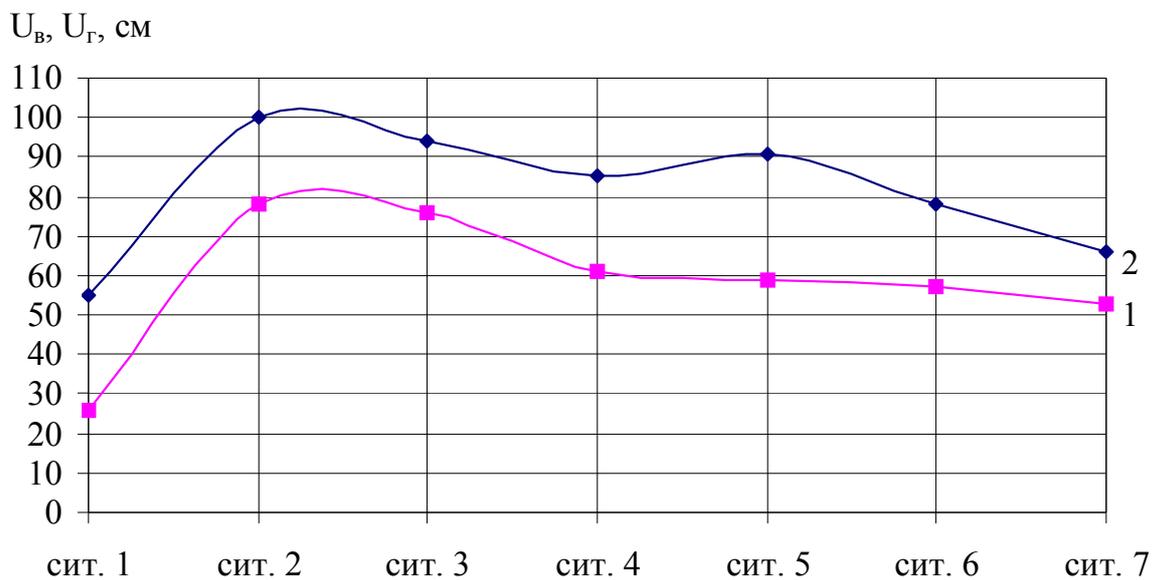


Рис. 3.16. Величина горизонтальной 1 и вертикальной 2 конвергенции при нагружении 45 кг ( $\gamma H$ )

### 3.3. Анализ результатов лабораторного моделирования

Анализ результатов моделирования позволил сделать следующие выводы:

- в выработках наблюдается сильное пучение пород почвы при расположении ее как в нетронутым массиве – 4 мм (0,2 м) (рис. 3.2), так и при прохождении лавы – 7...10 мм (0,35...0,5 м) (рис. 3.3...3.7);
- при нагрузке в 40 кг (0,89Н<sub>γ</sub>) в почве выработки явно наблюдаются трещины (рис. 3.2...3.7);
- при выполнении мероприятий, описанных в ситуации 7, пучение пород почвы составило 6 мм (0,3 м) и трещина в почве не наблюдалась (рис. 3.8);
- при нагрузке 25 кг (0,56Н<sub>γ</sub>) и наличии лавы в боку выработки со стороны массива наблюдается трещина, проходящая от почвы выработки в глубь массива под углом, примерно, 45° (рис. 3.3, 3.4);
- установка усиления по центру выработки практически не влияет на величины конвергенций и общее состояние выработки, поскольку уже при нагрузке 30 кг (0,67Н<sub>γ</sub>) стойка усиления разрушилась (рис. 3.4);
- увеличение смещений бока выработки со стороны лавы, а также величины горизонтальной и вертикальной конвергенции при прохождении лавы (рис. 3.16);
- наличие раскоски, без дополнительных мероприятий по ее поддержанию, приводит к ухудшению эксплуатационного состояния выработки (рис. 3.6, 3.7);
- в ситуации 7 высота раскоски уменьшилась на 20 %, тогда как в ситуациях 5, 6 – на 70...80 %, что подтверждает эффективность использования анкера со стороны массива;
- камуфлетное взрывание приводит к уменьшению деформаций пород в боках выработки и величины поднятия почвы;
- исходя из величины смещения контура выработки, наиболее рационально устанавливать анкера, жестко связанными с аркой, со стороны лавы на высоте 2,0 м от почвы под углом 30° и со стороны массива на высоте 2,5 м от почвы под углом 45° (рис. 3.8);
- исходя из изменения величины горизонтальной и вертикальной конвергенции в подготовительной выработке и объемов подрываемой породы установлено, что наиболее рациональный размер раскоски составляет 2...2,5 м.
- при выполнении всех предложенных мероприятий по поддержанию выработки величины горизонтальной и вертикальной конвергенций уменьшились на 31% и 30%, соответственно, по отношению к величине конвергенции, полученной при моделировании выработки с мероприятиями по поддержанию, используемые на шахте.

Таким образом, камуфлетное взрывание приводит к уменьшению деформаций пород в боках выработки и величины поднятия почвы на 30%. Установка анкеров, жестко связанных с аркой, со стороны лавы и со стороны массива уменьшает величину горизонтальной и вертикальной конвергенции в выработке на 30%, а конвергенцию в раскоске – на 65%. В условиях ПАО «ДТЭК Шахта Комсомolec Донбасса» представляется возможным обеспечить эксплуатационное состояние подготовительных выработок в зоне влияния лавы для повторного их использования при реализации способа, предложенного в настоящей работе в главе 2.

## ГЛАВА 4

# АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА В КРОВЛЕ ОЧИСТНОЙ ВЫРАБОТКИ И НА СОПРЯЖЕНИИ “ЛАВА-ШТРЕК”

Неудовлетворительное состояние выемочных штреков является следствием интенсивного опорного давления, вызывающего разрушение пород и значительные смещения контура выработки на участках сопряжений лавы со штреком. Поэтому базой для научно-обоснованных эффективных способов поддержания и охраны подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ должно быть установление закономерностей геомеханических процессов, протекающих в районе очистной выработки и влияния их на состояние выемочных штреков.

Следует отметить, что процессы формирования опорного давления вокруг выработок в зоне влияния очистных работ обладают существенными особенностями. Наибольшее влияние на их развитие оказывают большие размеры обнажений, непрерывное движение забоя, вызывающее постоянное изменение компонентов поля напряжений в окружающем породном массиве, наличие примыкающего выработанного пространства, а также значительно меньшее время эксплуатации. Эти особенности обусловили сложность математического моделирования геомеханики подработанного породного массива и развитие различных гипотез относительно формирования и реализации горного давления в лавах.

Решение задачи о напряженно-деформированном состоянии породного массива в окрестности очистной 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, а также иных методов. Выбор расчетного метода определяется принятой гипотезой горного давления и соответствующей моделью среды.

### 4.1. Гипотезы формирования горного давления вблизи очистных выработок

Первыми и наиболее употребимыми гипотезами проявления горного давления в лавах полого падающих пластов были гипотезы консольных балок, которые позднее были развиты в теорию консольных плит. Согласно этим гипотезам породные слои рассматриваются как совокупность балок (или плит) жестко защемленных со стороны целика и прогибающихся над выработанным пространством [37-39].

Используя методы сопротивления материалов (для балок) и теории упругости (для плит) исследователи пытались моделировать поэтапные деформации слоев и их последующее обрушение в выработанное пространство. При этом наибольшая сложность состояла в моделировании сцепления между слоями, что явилось причиной либо введения многочисленных упрощающих пред-

положений, снижающих степень адекватности деформационной модели, либо применения излишне громоздкого и тоже малоэффективного, с точки зрения возможности приближения к реальности, математического аппарата.

Другой ранней гипотезой, сыгравшей важную роль в развитии представлений о формировании горного давления, является гипотеза сводообразования [40-42], согласно которой вследствие перераспределения напряжений в кровле очистной выработки образуется область пород, потерявшей связь с окружающим массивом. Именно вес пород, заключенных в этой области, имеющей параболическое очертание, создает нагрузку на ограждающую крепь в лаве. Недостатком гипотезы свода давления является то, что рассмотрению подлежит только некоторая локальная область, изолированная от остального массива. Между тем накопленный опыт показывает, что при подработке массива вследствие очистных работ деформации в породных слоях реализуются на значительной площади, достигая земной поверхности.

В разные годы были предложены альтернативные гипотезы, в соответствии с которыми массив рассматривался как блочная структура [43, 44], как сыпучая среда [45], как предварительно разрушенная среда [46]. Представление о существовании зоны пониженных напряжений в окрестности очистной выработки дает гипотеза ступенчатого опускания кровли [47]. Предполагается, что в границах этой зоны возникает трещиноватость, приводящая к сдвигению блоков пород.

Не останавливаясь на недостатках этих теорий, отметим, что хотя все они возникли на основе натуральных наблюдений за поведением породного массива в кровле лав, попытки описать это поведение математически неизбежно приводили к необходимости такого количества упрощений, что практическая ценность предлагаемых в итоге зависимостей была незначительной.

Остановимся несколько подробнее на гипотезе волны давления, которая была высказана Г. Вебером [48], исходя из натуральных наблюдений за деформациями крепи и боковых пород в подготовительных выработках (штреках). Эти представления существенно отличаются от гипотез горного давления, рассмотренных выше и, по сути, представляют собой рассмотрение конечных проявлений горного давления в лавах, а не его природу. Г. Вебер предложил различать два вида волнового процесса при очистной выемке угля в лавах: подвижную волну, перемещающуюся вслед за угольным забоем, и неподвижную – образующуюся при остановке забоя. М. Немчик и Г. Вебер в работе [49] приводят результаты маркшейдерских измерений в виде затухающей синусоиды с равными длинами волн и затухающими вглубь массива амплитудами колебаний (рис.4.1).

При этом измерения проводились не в отношении давлений (напряжений), а в отношении деформаций угольного пласта.

Попытка дать теоретическое обоснование явления волнового давления принадлежит Г. Шпаккелеру [50], в связи, с чем эту гипотезу иногда называют его именем.

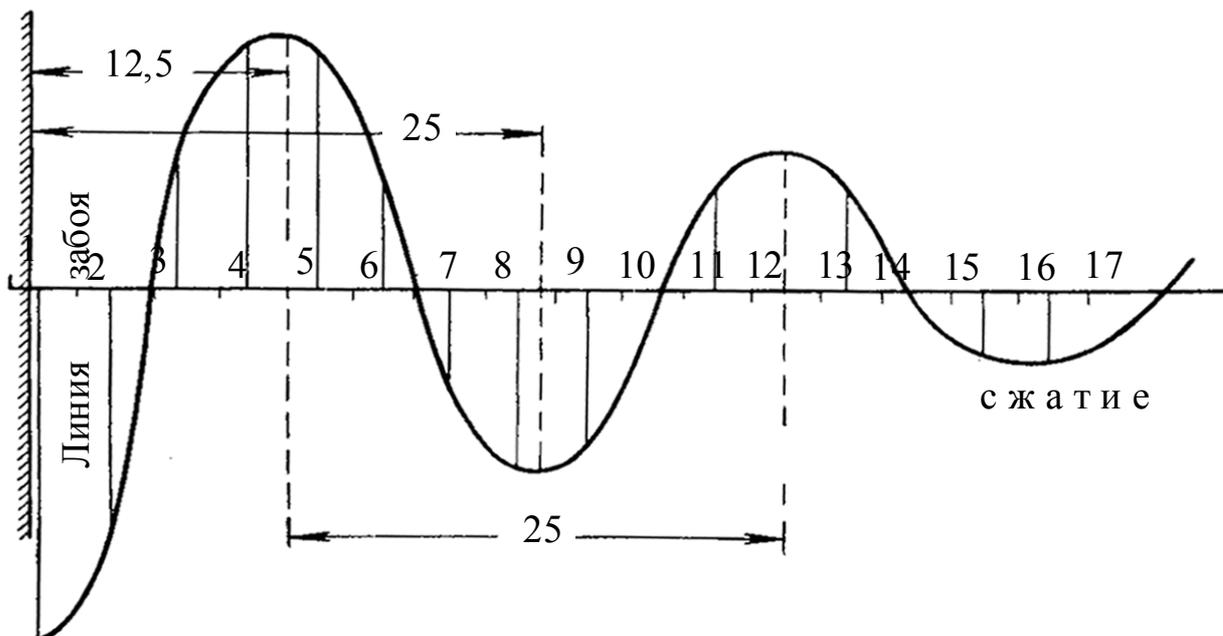


Рис. 4.1. Волна давления по М. Немчику

Многочисленные измерения, выполненные сотрудниками ВНИМИ в условиях различных угольных бассейнов, частично подтвердили эту гипотезу. Действительно, наблюдается некоторая периодичность в интенсивных деформациях крепи штрека и смещениях почвы, а также смещениях кромки угольного пласта. Характерно то, что явление волнообразного проявления горного давления подтверждалось при системе разработки с обрушением. Поэтому можно высказать предположение, что именно периодические обрушения кровли вносят периодичность и в деформационные процессы в кровле и почве выемочных штреков. В отношении «стоячих» волн никаких подтверждающих экспериментальных данных нет. Не наблюдались волновые процессы, связанные с движением лавы, и при плавной посадке кровли.

Наиболее законченной, обобщающей все предыдущие воззрения, является гипотеза радиальных смещений К.В. Руппeneйта [51]. Процесс смещений кровли и перераспределение напряжений в массиве горных пород при его подработке лавой описано на основе решения упругопластической задачи (плоская деформация) с применением методов механики сплошной среды. Гипотеза К.В. Руппeneйта, предполагающая образование вокруг выработки область неупругих деформаций, имеет наиболее глубокое теоретическое обоснование, получившее подтверждение и с точки зрения практического опыта. Однако сложность математического аппарата все же требует ряда серьезных упрощений физической модели и не позволяет учесть разнообразие факторов, влияющих на развитие деформационных процессов при очистной выемке.

Видимо следует признать, что получение замкнутых математических решений для такого сложного объекта, каким является очистная выработка, перемещающаяся в породном массиве с неоднородной структурой, невозможно в принципе. Единственный путь, ведущий к эффективному решению поставлен-

ной 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 С.Н. Комиссарова [52], Н.А. Жданкина [53], Л.В. Новиковой [54] и др.

#### **4.2. Анализ численных методов исследования напряженно-деформируемого состояния горного массива**

Для решения задач, поставленных в данной работе, помимо экспериментальных методов исследования использовались и 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 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 и прямые методы математической физики.

Основные положения метода граничных элементов (МГЭ) изложены в [55]. Этот метод используется в работах Векслера Ю.А., Колоколова С.Б., Жданкина Н.А. [56, 57], Петухова И.М., Зубкова В.В. [58], Новиковой Л.В. [59], Сдвижковой Е.А. и др. [60 и др.].

Теоретические аспекты метода конечных элементов (МКЭ) сформулированы в работах Розина Л.А. [61, 62], Зенкевича О. [63], Сегерлинда Л. [64], Стренга Г. и Фикса Дж. [65], Деклу Ж. [66], а применение его к решению задач механики горных пород подробно описано в работах Амусина Б.З., Фадеева А.Б. [67, 68], Ержанова Ж.С. и Каримбаева Т.Д. [69]. Обширный перечень работ, в которых используются идеи МКЭ, содержится в работе [70].

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 [67]. Разработаны специальные приемы для моделирования взаимодействия крепи выработки с окружающим массивом [71]. Сколько угодно сложный вырез в полуплоскости, а также конечное число таких вырезов, не являются препятствием к применению метода. Так, получение решения о распределении 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. Естественно, математический аппарат метода и его ре-

ализация на ЭВМ при этом существенно усложняется. Поэтому решения для трехмерных областей, полученные на настоящий момент, весьма немногочисленны.

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.

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.

Состояние приконтурных пород в окрестности подготовительной выработки, тесно связано с подвиганием очистного забоя и теми процессами, которые происходят в подработанной части массива. На ПАО «ДТЭК Шахта Комсомolec Донбасса» управление кровлей осуществляется полным обрушением. Известно, что обрушение пород кровли сопровождается рядом специфических проявлений горного давления: увеличение нагрузки на механизированную крепь и крепь сопряжения, повышенное газовыделение в призабойное пространство лавы, динамические эффекты. Выше отмечалось, что в условиях ПАО «ДТЭК Шахта Комсомolec Донбасса» наблюдается интенсивное поднятие почвы штреков. Логично предположить, что процесс пучения также обусловлен периодическими обрушениями пород в выработанное пространство. Поэтому, возникает задача изучения тех механических процессов, которые предшествуют посадке кровли и прогнозирования момента обрушения пород.

#### **4.3. Исследование влияния циклических обрушений основной кровли в лаве на процесс пучения пород почвы**

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 Н.В. Хозяйкиной [72] 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 перемещений в рассматриваемой упругой плоскости, ослабленной вырезом различных размеров.

По аналогии с работами [73, 74] 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 [75] 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  $\sigma_1, \sigma_3$  – соответственно наибольшее и наименьшее главные напряжения,  $\psi = \frac{R_p}{R_c}$  ( $R_p$  – предел прочности пород на одноосное растяжение,  $R_c$  – предел прочности на одноосное сжатие).

Таким образом, по методике, предложенной в [72] 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 «Комсомолец Донбасса» методом конечных элементов. В настоящее время существует множество пакетов прикладных программ (ППП), позволяющих реализовать МКЭ. Они отличаются авторскими подходами, удобством пользования и всегда включают в себя предпроцессор, служащий для подготовки исходных данных, программу на основе МКЭ для численного решения граничных задач механики и физики и постпроцессор, используемый для визуализации полученных результатов.

Расчетная схема (рис. 4.2) включает слои различной жесткости (согласно стратиграфической колонке), зону обрушенных пород и очистную выработку, размеры которой последовательно увеличивались в течение 10 этапов расчета. По верхней границе области приложена нагрузка интенсивностью

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

где  $k_\sigma$  – коэффициент учитывает тот факт, что плоские сечения лавы перпендикулярными 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.

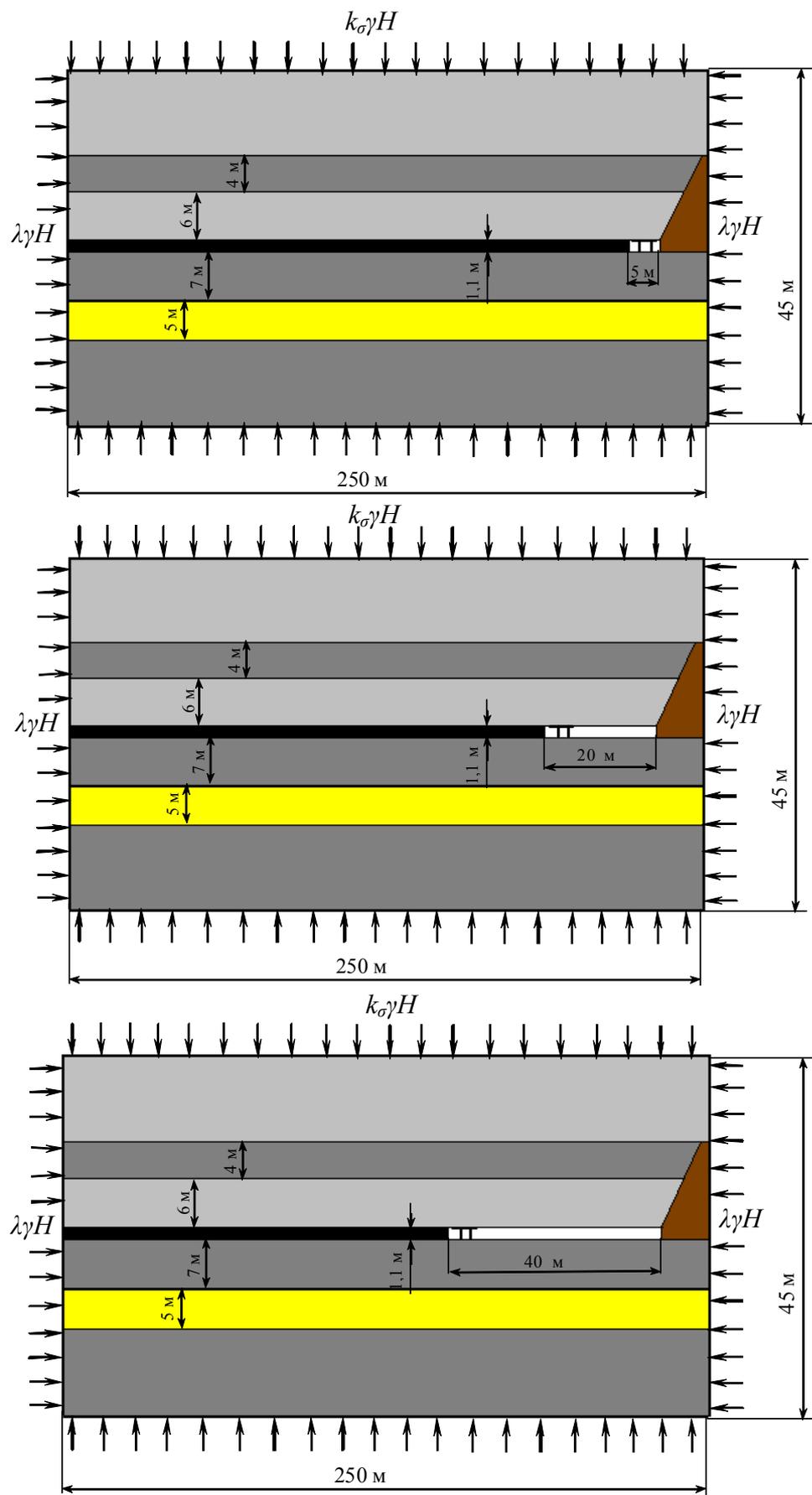


Рис. 4.2. Расчетные схема к оценке напряженного состояния массива при развитии очистных работ

В данном случае можно воспользоваться приемом, предложенном в работе [71], 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 [71] коэффициент пригрузки  $k_\sigma$  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, показывают, 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 [75] величина 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. Е.А. Сдвижковой 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  $\eta$  – 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 не только в кровле над выработанным пространством (как указывается в работах Н.В. Хозяйкиной), но и охватывает значительную часть почвы очистной выработки. Характерно то, что и в кровле и в почве выработки имеют место растягивающие нормальные напряжения, причем совокупность точек, в которой растягивающие напряжения превосходят предел прочности на растяжение представляет собой область параболического очертания (рис. 4.3). С увеличением размера очистной выработки условные зоны разрушения и область растягивающих напряжений становятся близки и по форме и по размерам (рис. 4.4).

В работе [72] 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

$$P = \gamma S,$$

где  $S$  – площадь условной зоны разрушения.

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  $L_i$  – 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 ПАО «ДТЭК Шахта Комсомolec Донбасса» равенство (4.3) выполняется при формировании очистной полости размером 40 м. То есть, циклические обрушения кровли пласта в выработанное пространство происходят при отходе лавы от области обрушенных пород на расстояние 40 м. Этот факт подтверждается данными натуральных наблюдений.

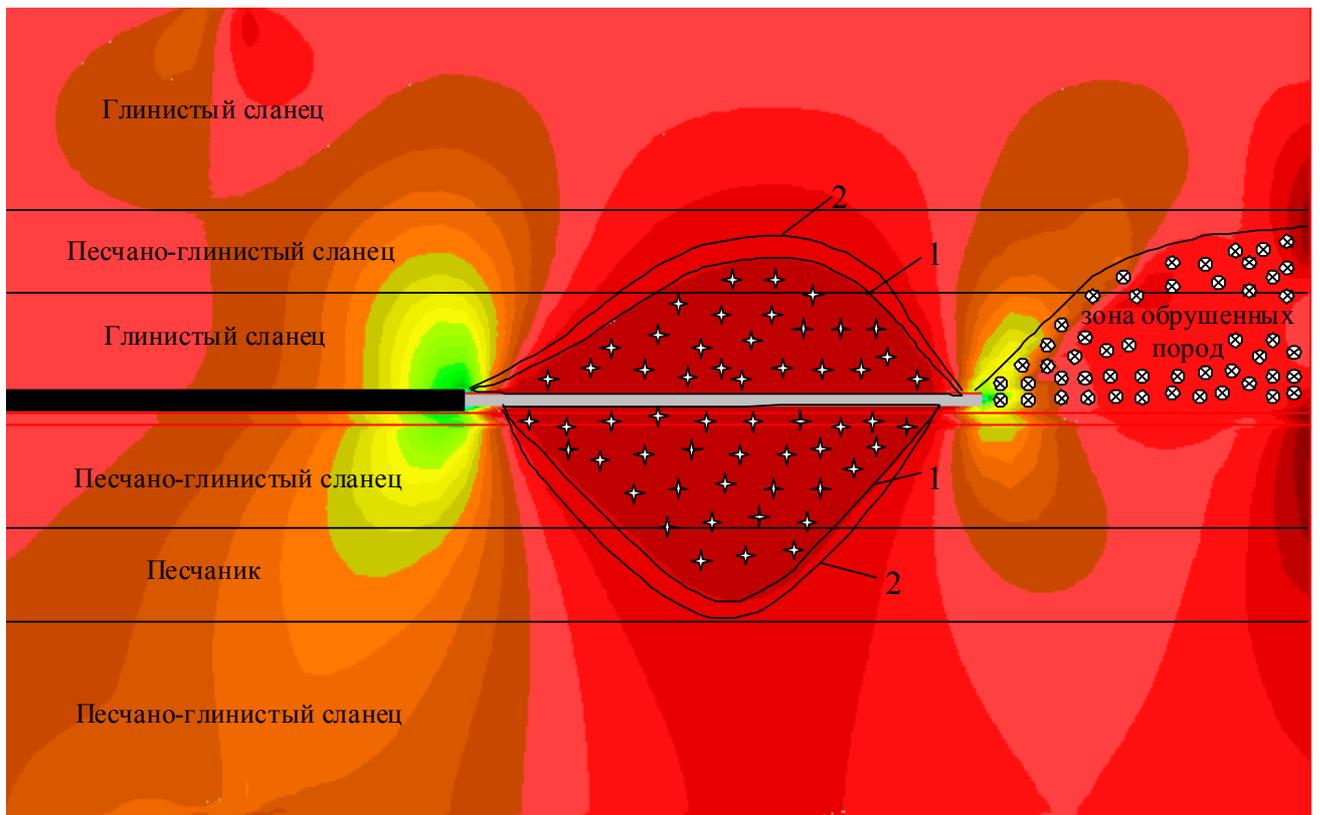


Рис. 4.3. Картина условных зон разрушения кровли угольного пласта при обнажении ее на 40 м

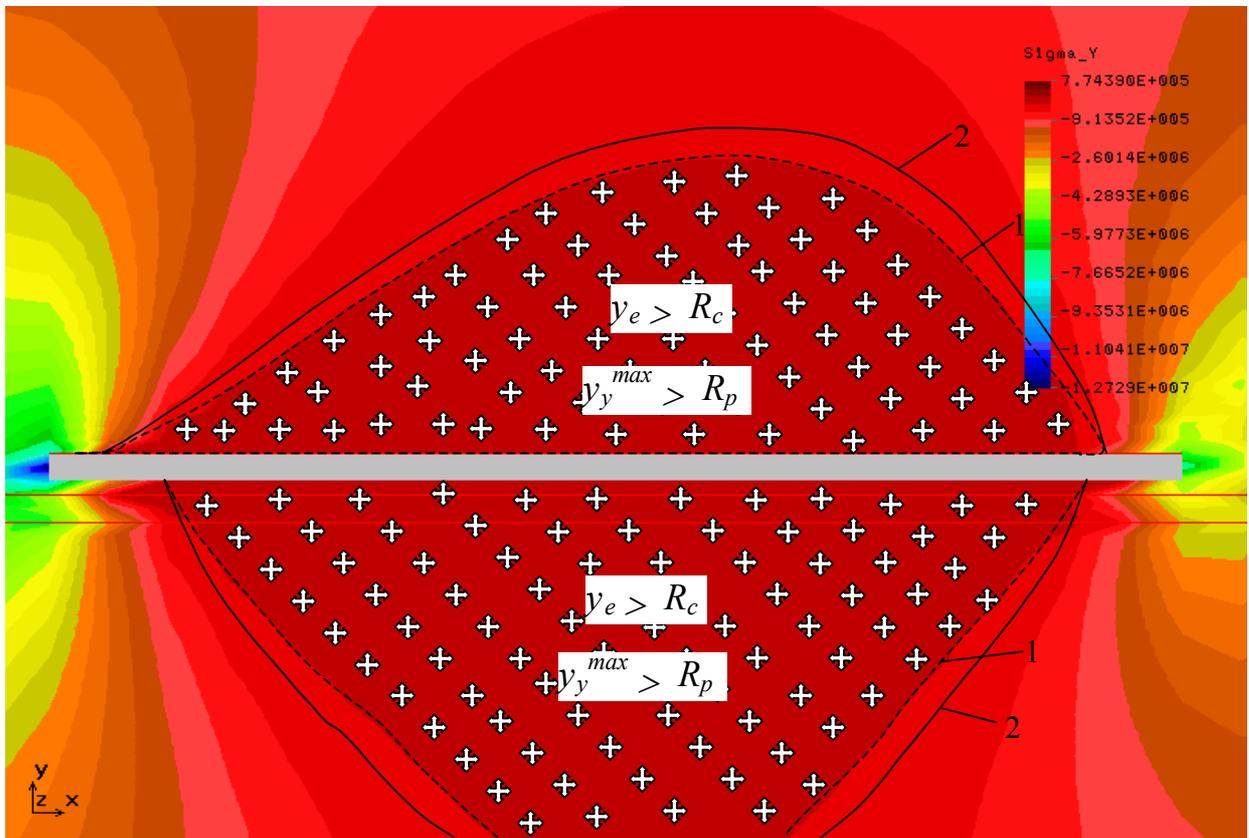


Рис. 4.4. Детальная картина условных зон разрушения кровли угольного пласта при обнажении ее на 40 м

Анализ картины вертикальных перемещений в почве пласта показывает, что к этому моменту они достигают максимальной величины, составляющей 0,5 м. После обрушения происходит процесс разгрузки в почве, а затем по мере подвигания забоя перемещения вновь возрастают, достигая максимума к моменту следующего обрушения.

Таким образом, процесс пучения пород почвы в выработанном пространстве лавы носит циклический характер, определяемый шагом посадки основной кровли. Очевидно, что такая же цикличность наблюдается и в почве подготовительной выработки, причем процесс этот носит более интенсивный характер на сопряжении лавы со штреком.

По результатам численных расчетов и натурных измерений построена зависимость рис. 4.5.

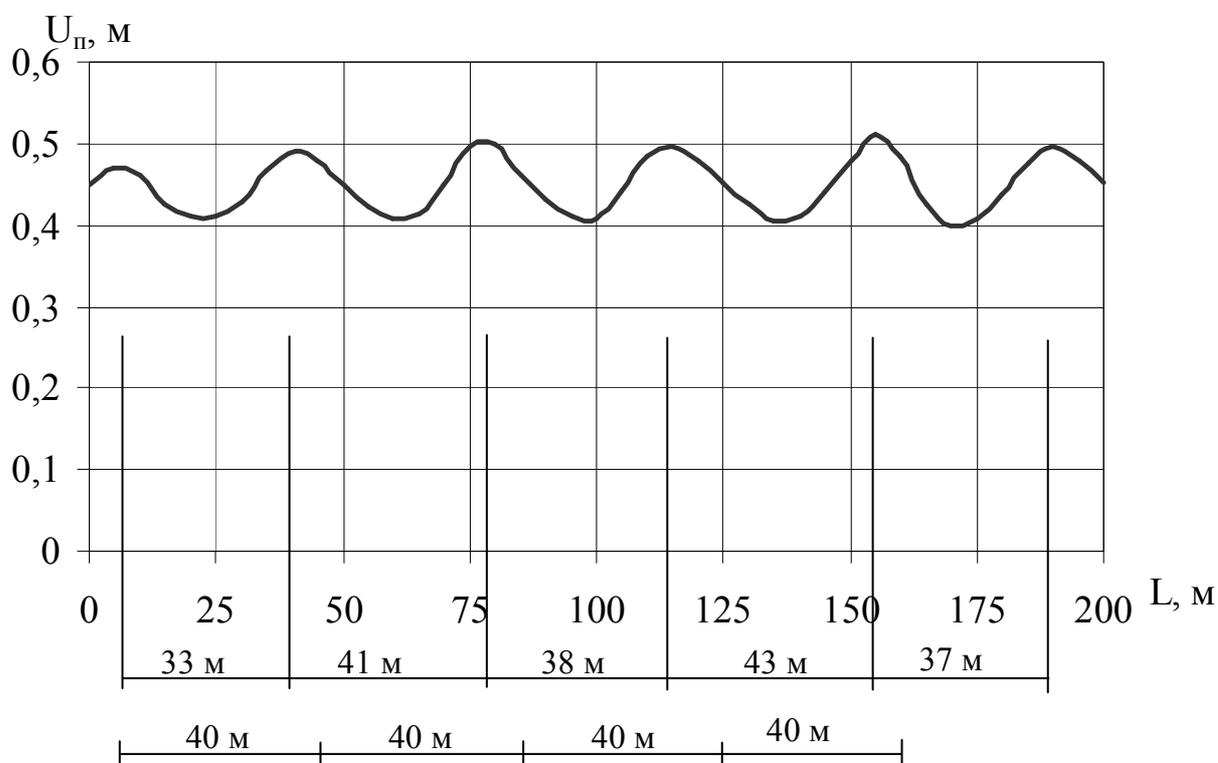


Рис. 4.5. Зависимость величины поднятия почвы в подготовительных выработках от шага обрушения пород кровли в лаве

Тот факт, что установившийся шаг обрушения пород кровли в лаве вызывает волнообразное разрушение крепи и резкое поднятие почвы в подготовительных выработках с периодичностью в 40 м (рис. 4.5), позволяет целенаправленно регулировать шаг установки крепи, уменьшая его в местах концентрации горного давления.

#### 4.4. Разработка алгоритма исследования процесса пучения почвы в подготовительной выработке и обоснование расчетной схемы

Закономерности деформирования крепи горных выработок, изложенные в работе [76], в значительной мере отражают изменение их состояния по мере ве-

дения горных работ. Однако более полное представление о взаимодействии системы “крепь-породный массив” можно получить, только рассмотрев НДС породного массива в окрестности подготовительной выработки.

Математическая модель деформирования породной среды в окрестности местных нарушений сплошности (будь на то естественные или искусственные причины), должна отображать основные явления, возникающие вследствие возникновения 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 пункте 4.3, сложный процесс пучения почвы в окрестности сопряжения выработок рассматривается 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  $\Omega$  разбивается на множество подобластей (элементов)  $\Omega^e$ . Внутри каждого элемента перемещения аппроксимируются некоторыми функциями, порядок которых зависит от числа узлов в элементе. Например, в плоском 4-х узловом элементе перемещения задаются линейной функцией, а в плоском 8-ми узловом элементе – квадратичной. 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:

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

Принцип ее построения подробно приводится в [67, 69].

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  $\{\sigma\}$

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

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

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

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

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

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, перемещений.

Пучение пород почвы 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  $\mu$ , 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  $\sigma_e$  – 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 “ $\sigma$ - $\varepsilon$ ” образца породы. Для реализации упруго-пластической задачи используется метод переменных параметров упругости. Для выполнения этой вычислительной процедуры необходимо иметь экспериментальную кривую, связывающую напряжения  $\sigma_i$  и деформации  $\varepsilon_i$ . 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  $\nu^1$  – условные параметры упругости, определяемые соотношениями:

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

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

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

Здесь  $\bar{\sigma}$ ,  $\bar{\varepsilon}$  – соответственно интенсивность напряжений и деформаций;  
 $\sigma_i$ ,  $\varepsilon_i$  – координаты точек, лежащих на экспериментальной кривой.

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

Для вычисленных значений  $\sigma_i$  и  $\varepsilon_i$  находят соответствующее значение  $\sigma_i^1$ , лежащих на кривых деформирования. Последние используются для вычисления новых значений  $E^1$  и  $\nu^1$ . Расчет продолжается до тех пор, пока расчетные значения  $\sigma_i^1$  не “лягут” на кривые деформирования с заданной точностью (рис.4.6).

Когда на некоторой итерации не возникает более 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.

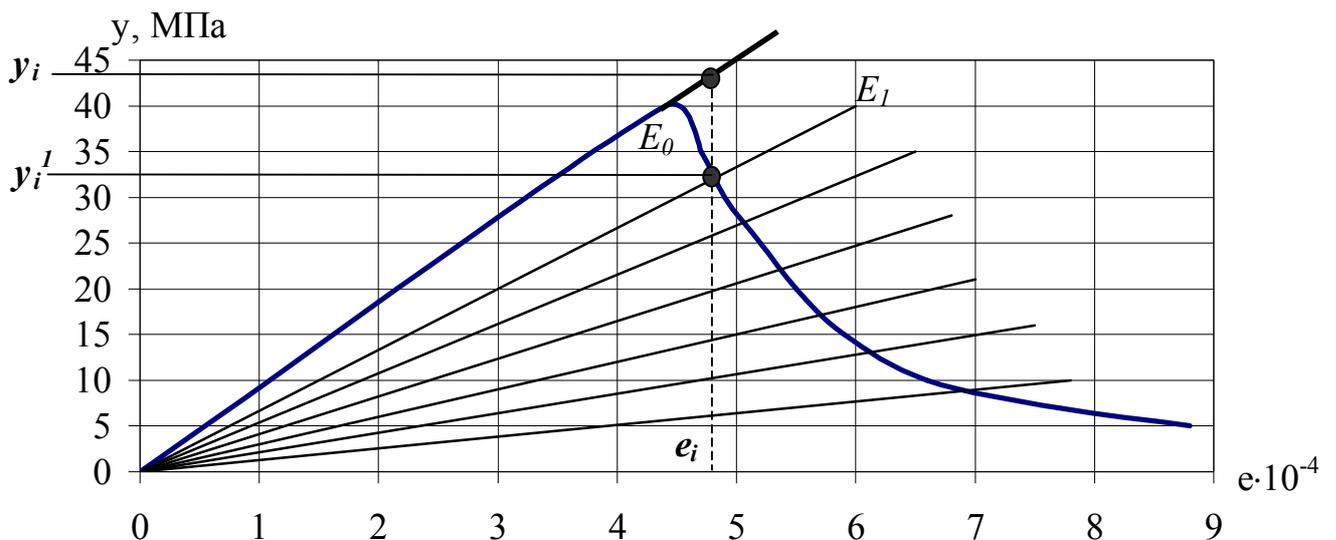


Рис. 4.6. Диаграмма “напряжения-деформации” аргиллитов и пример разбивки кривой секущими для организации процедуры последовательных напряжений

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 НДС. 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 с сечением  $S_{св}=13,7 \text{ м}^2$  и очистной выработки. Расчетная схема приведена на рис. 4.7.

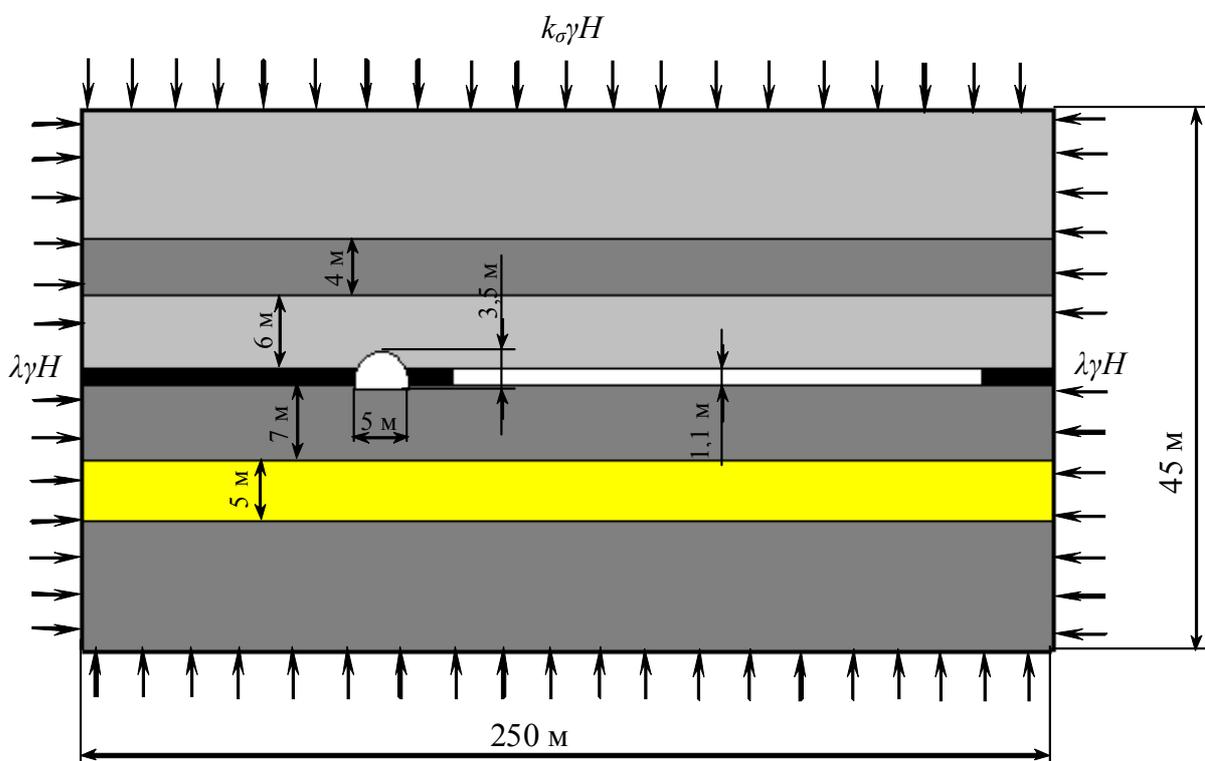


Рис. 4.7. Расчетная схема к решению задачи обоснования способа охраны и поддержания подготовительных выработок

Схема на рис. 4.7 является исходной. На ее основе формируется последовательность расчетных схем, в которые поэтапно вводятся элементы, моделирующие формирование расколки, анкерную крепь, разрыхление пород в результате камуфлетного взрывания.

#### 4.5. Исследование напряженно-деформированного состояния приконтурного массива на сопряжении “лава-штрек” и определение наиболее рациональных мероприятий по поддержанию подготовительных выработок

Методом конечных элементов моделировалась выработка, с линейными размерами: ширина – 5 м, высота – 3,5 м, мощность пласта – 1,1 м, расположена

на глубине 600 м, что соответствует горному давлению 17,9 МПа. Были рассмотрены семь характерных ситуаций:

1. Подготовительная выработка в массиве, закрепленная арочной податливой крепью. Расчетная схема на рис. 4.8.

2. Подготовительная выработка, сопрягающаяся с лавой. Расчетная схема на рис. 4.9. Конечно-элементная аппроксимация на рис. 4.15.

3. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью с усилением по центру, при проходе лавы, применяемый на ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса». Расчетная схема на рис. 4.10. Усиление моделировалось, как сосредоточенная сила  $P$ , приложенная к узлам элементов в центральной части кровли и почвы.

4. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью, при проходе лавы. В боках подготовительной выработки камуфлетное взрывание. Расчетная схема на рис. 4.11. Вследствие камуфлетного взрывания происходит разрыхление части угольного пласта. В расчетной схеме зона разрыхления моделировалась как область, в которой модуль упругости  $E_{кам}$  уменьшен по отношению к  $E_{y2}$  пласта.

5. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью, при проходе лавы. В боку подготовительной выработки со стороны массива раскоска шириной 2...2,5 м. В боках подготовительной выработки камуфлетное взрывание. Расчетная схема на рис. 4.12. Раскоска моделировалась как дополнительная полость в угольном пласте размерами 2...2,5 м.

6. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью, при проходе лавы. В боку подготовительной выработки со стороны массива раскоска шириной 2...2,5 м. В боках подготовительной выработки камуфлетное взрывание. Со стороны лавы под углом  $30^\circ$  на высоте 2,0 м от почвы выработки установлен сталеполимерный анкер длиной 2,5 м, жестко связанный с аркой. Расчетная схема на рис. 4.13. 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 радиусом 2,4 см, моделировался специальным линейным стержневым элементом рис. 4.16. Модуль упругости и коэффициент Пуассона материала стержня приняты соответственно  $E_{анк}=2 \cdot 10^6$  МПа и  $\mu_{анк} = 0,35$ .

7. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью, при проходе лавы. В боку подготовительной выработки со стороны массива раскоска шириной 2...2,5 м. В боках подготовительной выработки камуфлетное взрывание. Со стороны лавы под углом  $30^\circ$  на высоте 2,0 м от почвы выработки и со стороны целика под углом  $45^\circ$  на высоте 2,5 м от почвы выработки установлены сталеполимерные анкеры длиной 2,5 м, жестко связанный с аркой. Расчетная схема на рис. 4.14. Конечно-элементная аппроксимация на рис. 4.16.

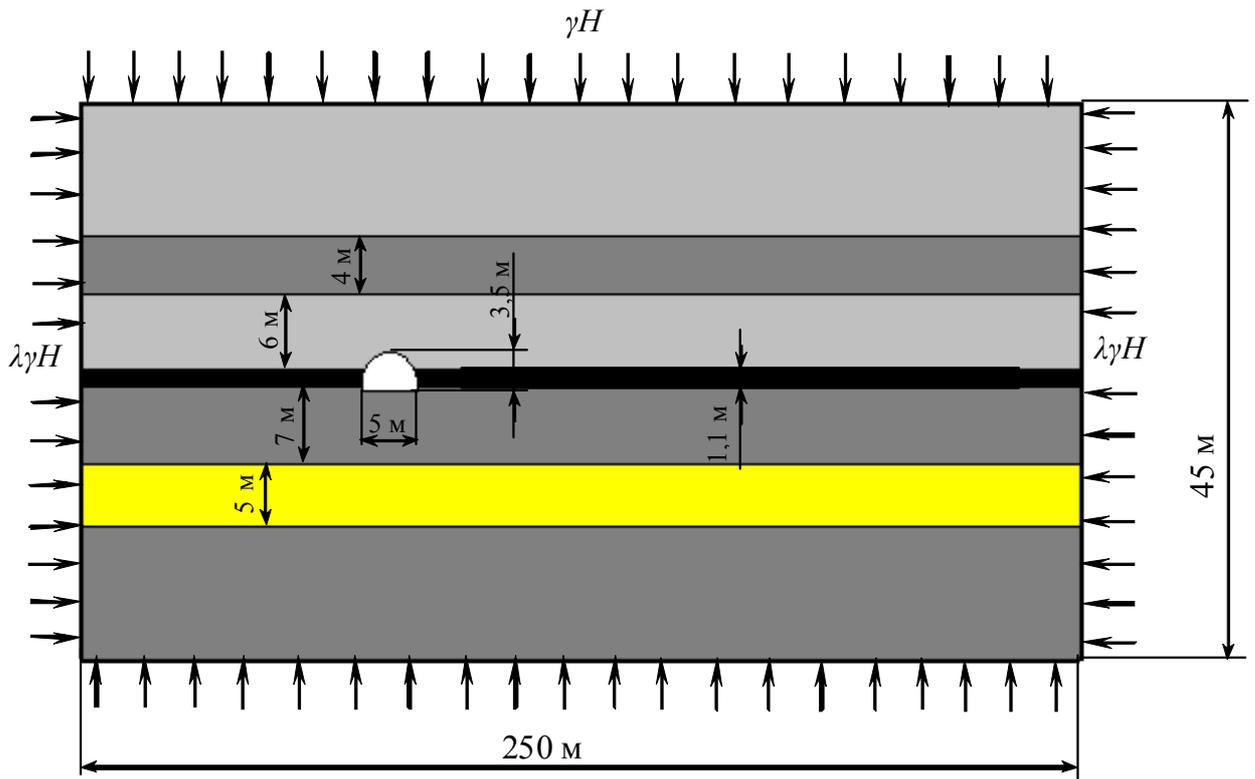


Рис. 4.8. Расчетная схема рассматриваемой задачи (ситуация 1)

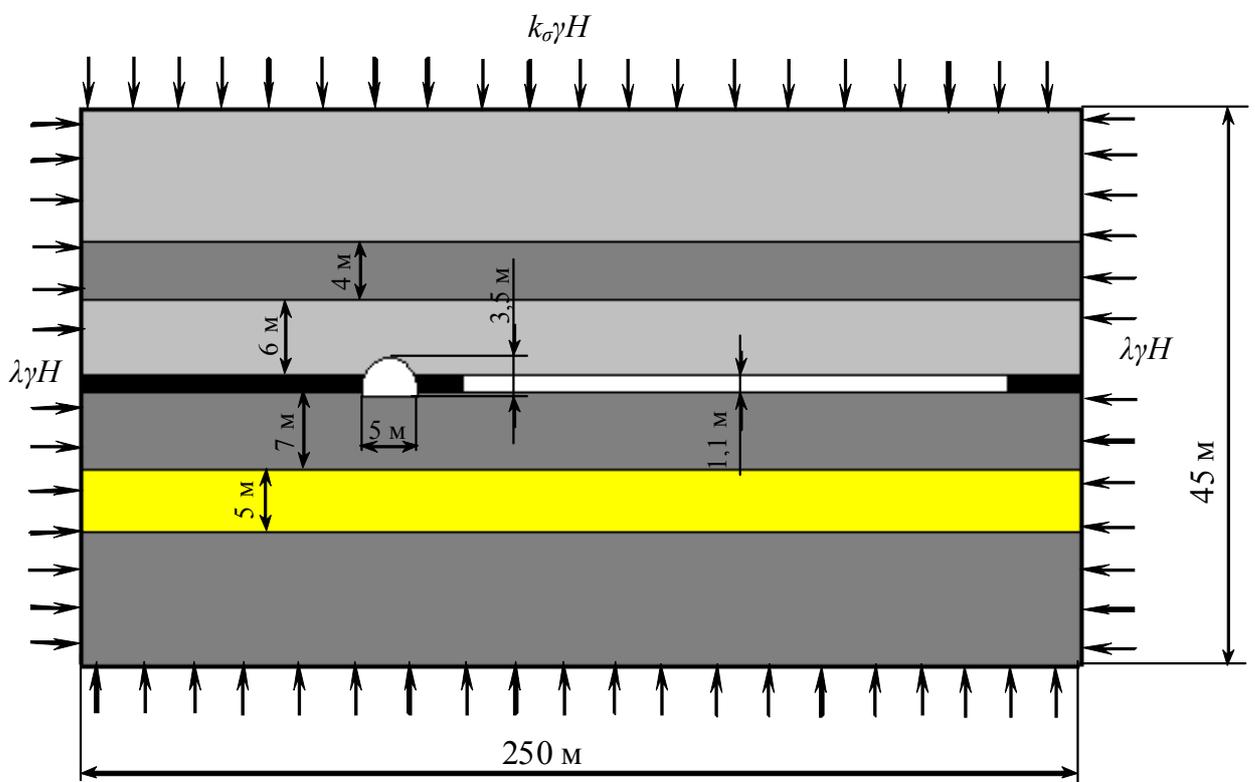


Рис. 4.9. Расчетная схема рассматриваемой задачи (ситуация 2)

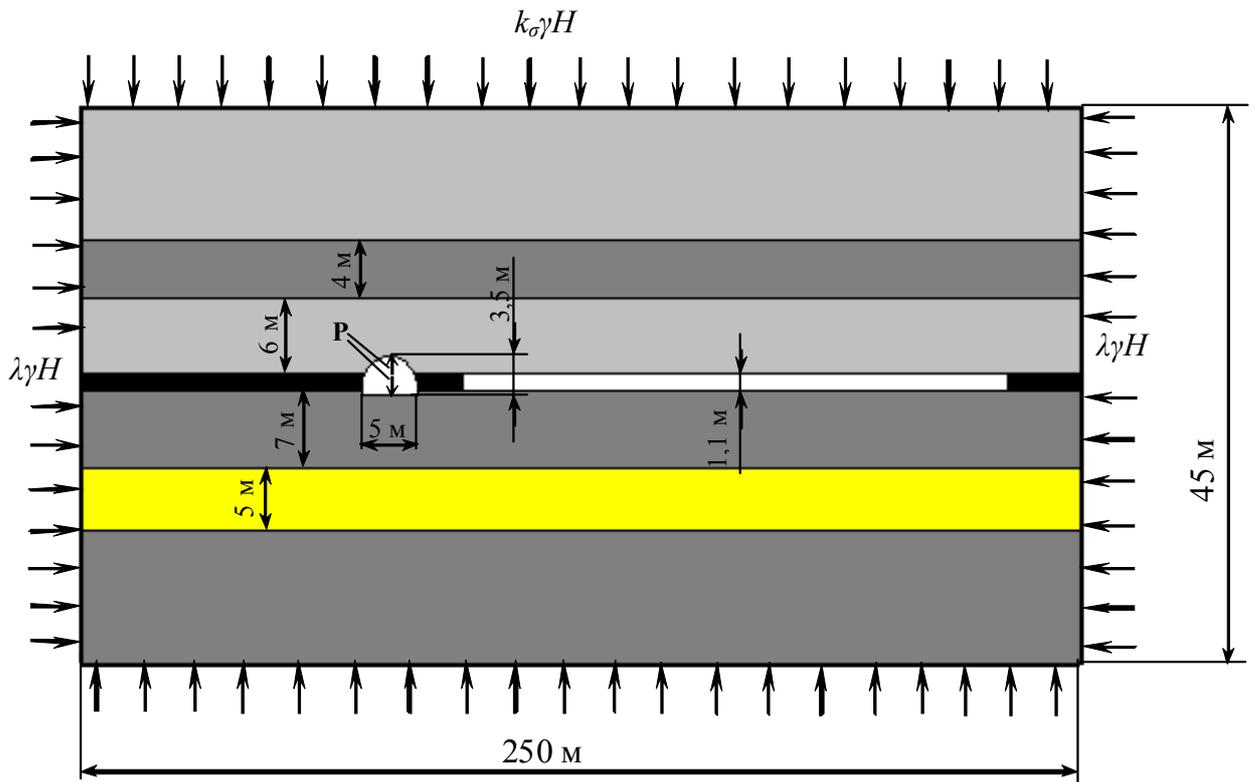


Рис. 4.10. Расчетная схема рассматриваемой задачи (ситуация 3)

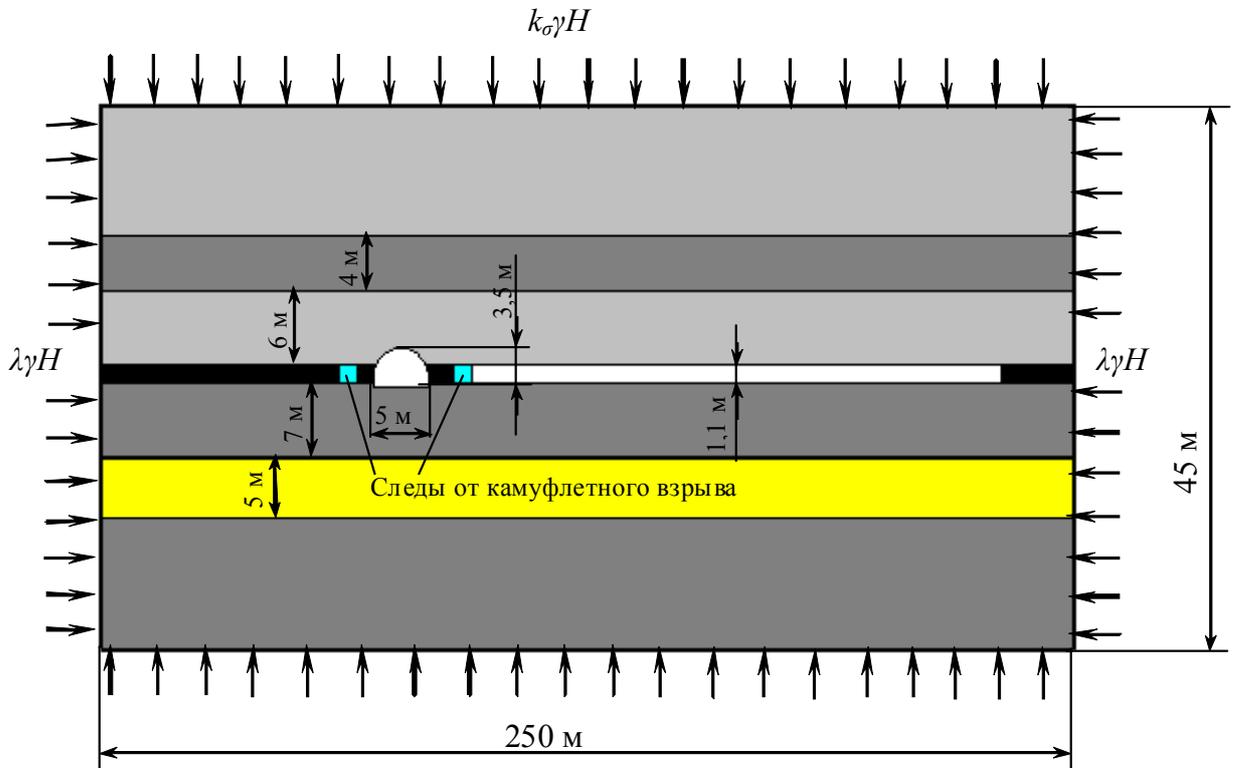


Рис. 4.11. Расчетная схема рассматриваемой задачи (ситуация 4)

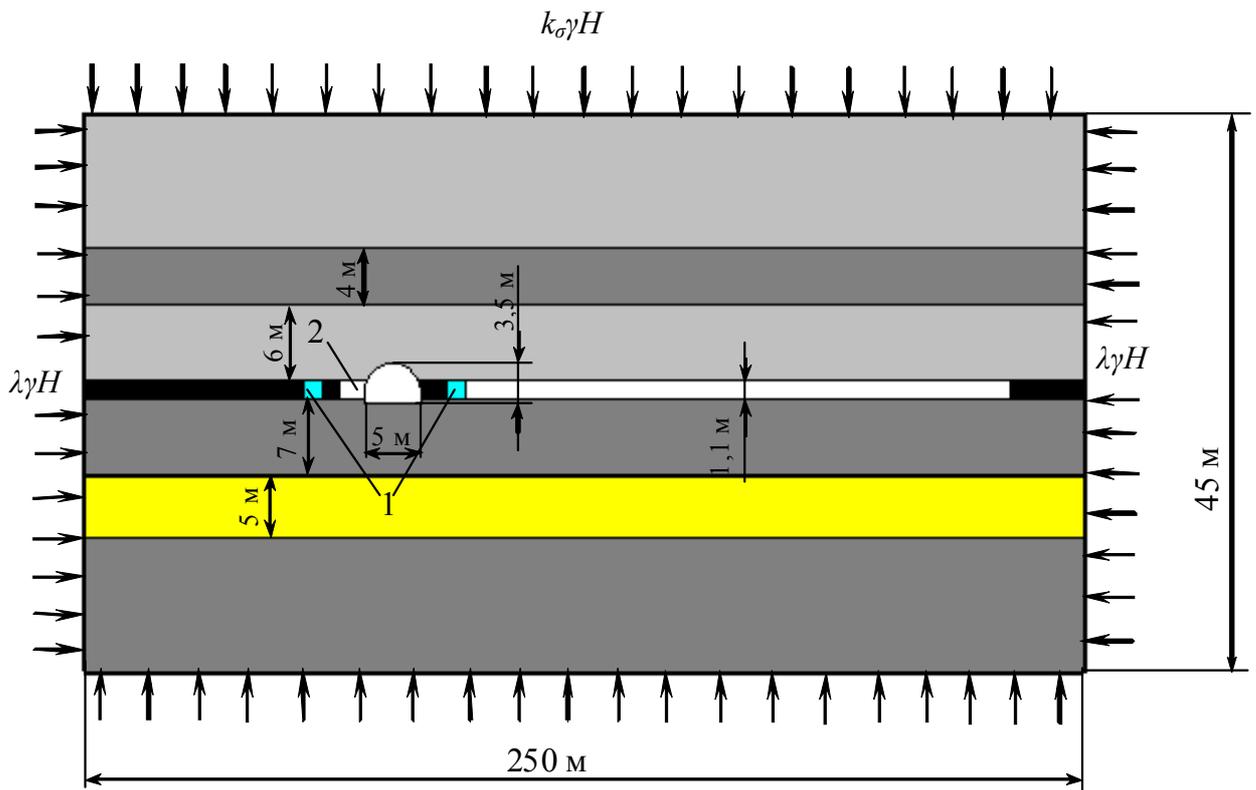


Рис. 4.12. Расчетная схема рассматриваемой задачи (ситуация 5):  
1 – следы от камуфлетного взрыва; 2 – расколка.

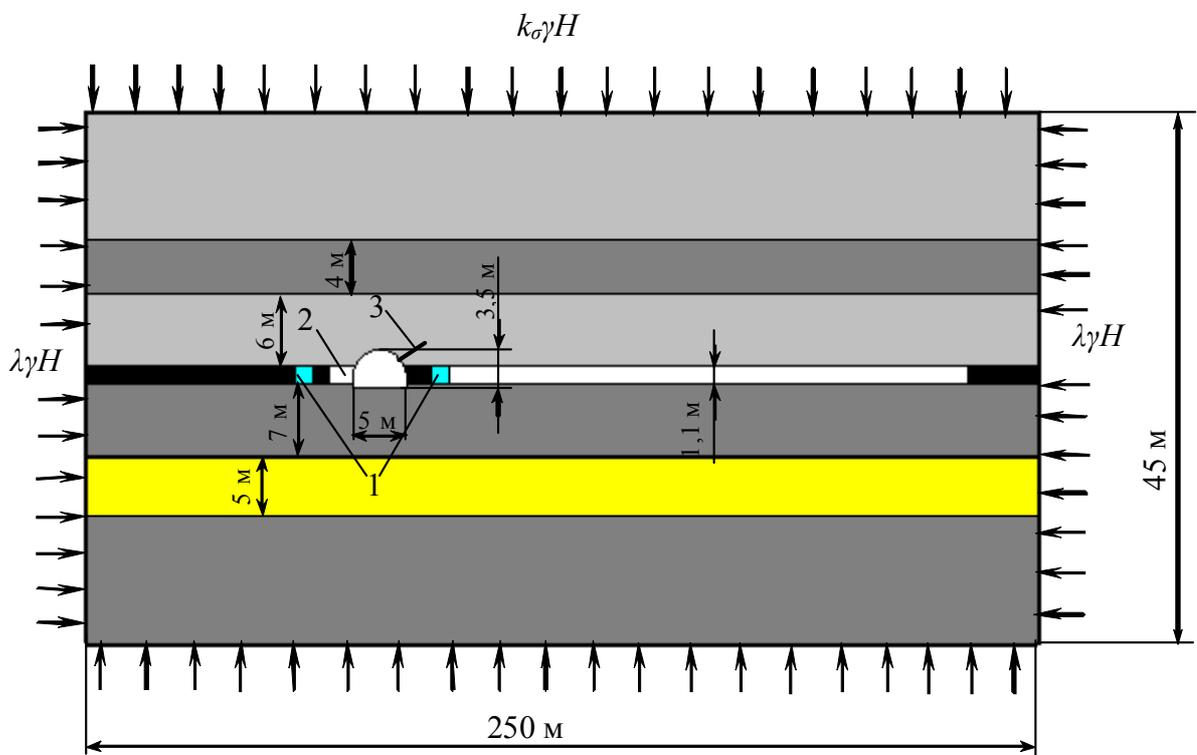


Рис. 4.13. Расчетная схема рассматриваемой задачи (ситуация 6):  
1 – следы от камуфлетного взрыва; 2 – расколка; 3 – сталеполимерный анкер.

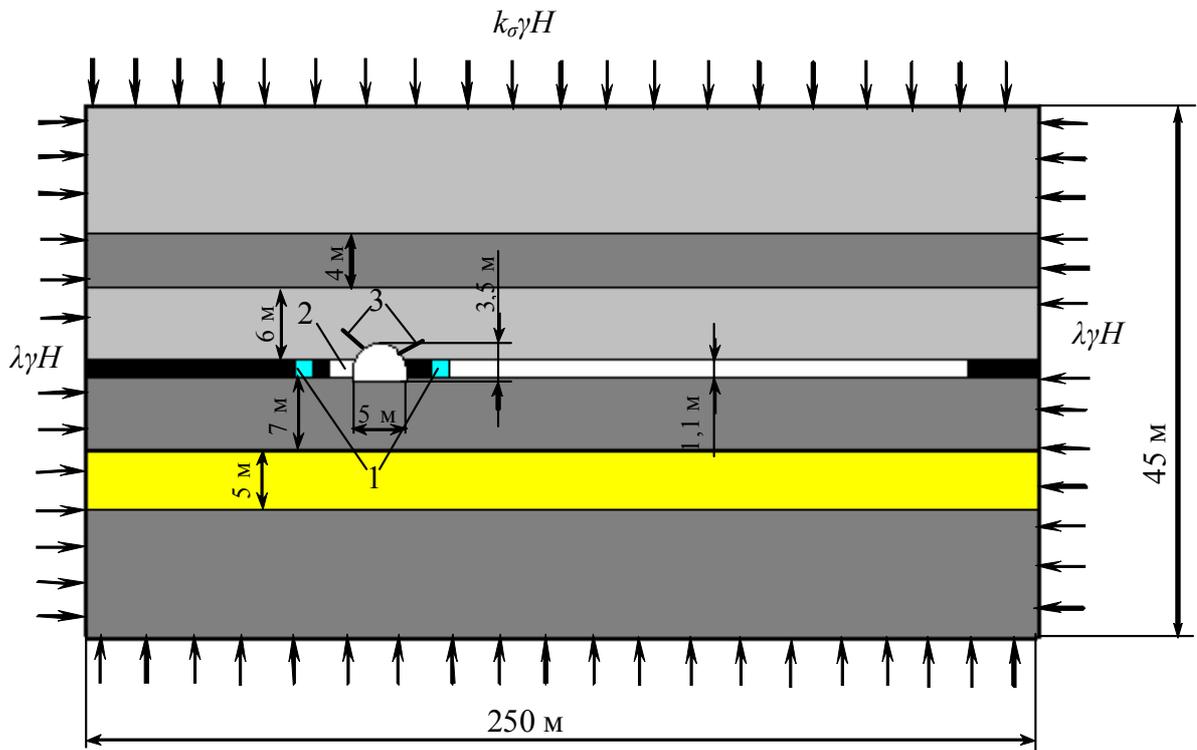


Рис. 4.14. Расчетная схема рассматриваемой задачи (ситуация 7):  
 1 – следы от камуфлетного взрыва; 2 – расколка; 3 – сталеполимерные анкеры.

Как видно из рис. 4.15...4.16, для разбиения области применяются линейные четырехугольные плоские элементы. Различными цветами показана слоистость горного массива, а также анкеры и зоны камуфлетных взрывов.

Для описанных выше расчетных схем процесс сходится в течение 6-7 итераций в зависимости от сложности расчетной схемы. Блок-схема вычислительной программы, реализующая данную процедуру, представлена на рис. 4.17.

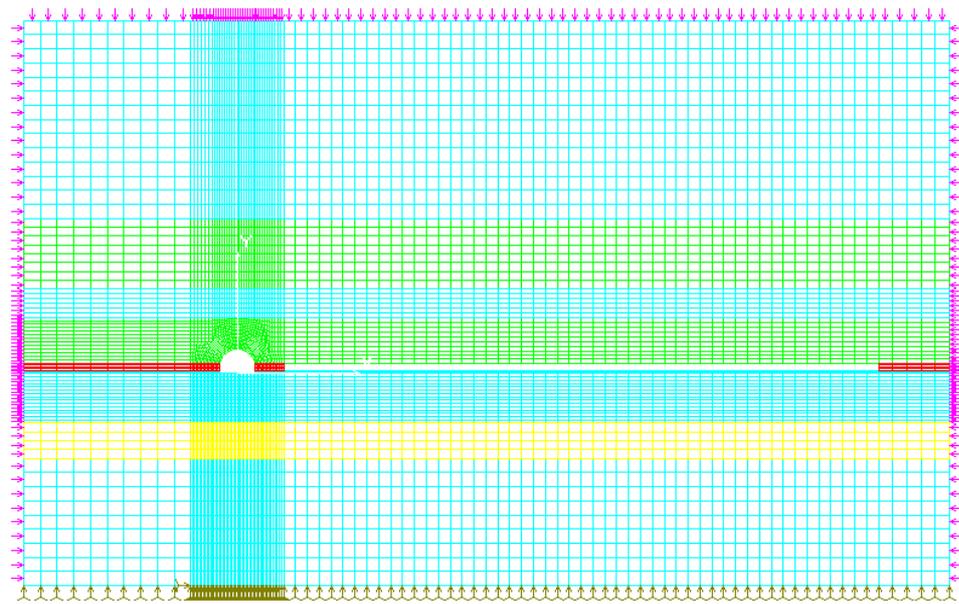


Рис. 4.15. Конечно-элементная аппроксимация расчетной схемы (ситуация 2)

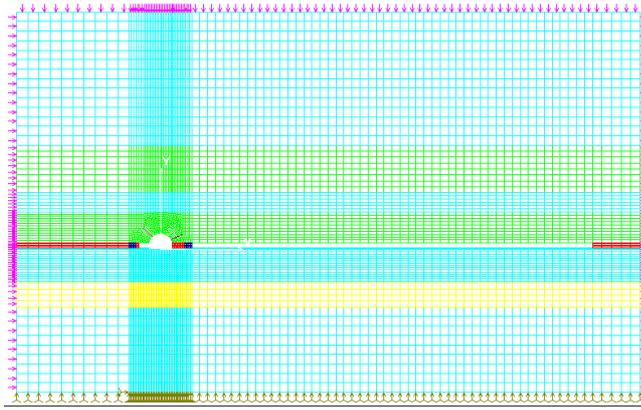


Рис. 4.16. Конечно-элементная аппроксимация расчетной схемы (ситуация 7)



Рис. 4.17. Блок-схема вычислительной программы

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 различных ослабляющих элементов: полости, имитирующей выработанное пространство лавы, зон переуплотнения пород вследствие камуфлетного взрывания, полости, имитирующей расколку. Наиболее комплексную оценку этих изменений дает картина распределения относительной величины  $\sigma_e/R_c$  в окрестности подготовительной выработки, которая приведена на рис. 4.18...4.21.

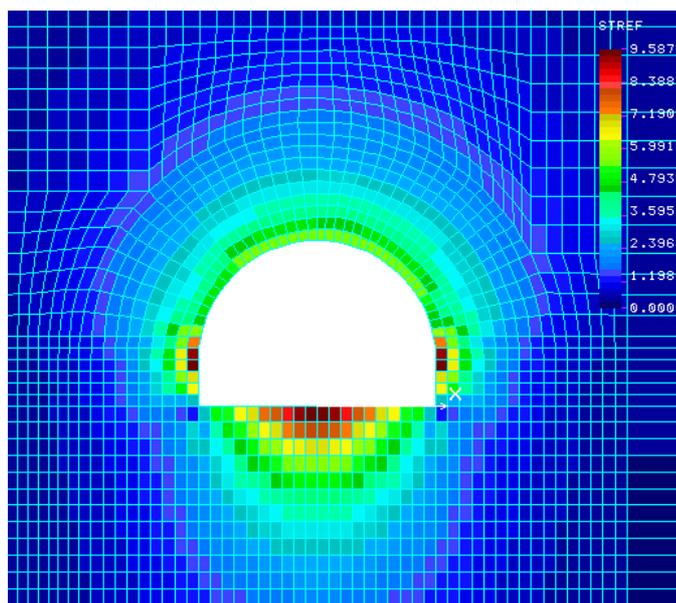


Рис. 4.18. Картина распределения величины  $\sigma_e/R_c$  в окрестности подготовительной выработки (ситуация 1)

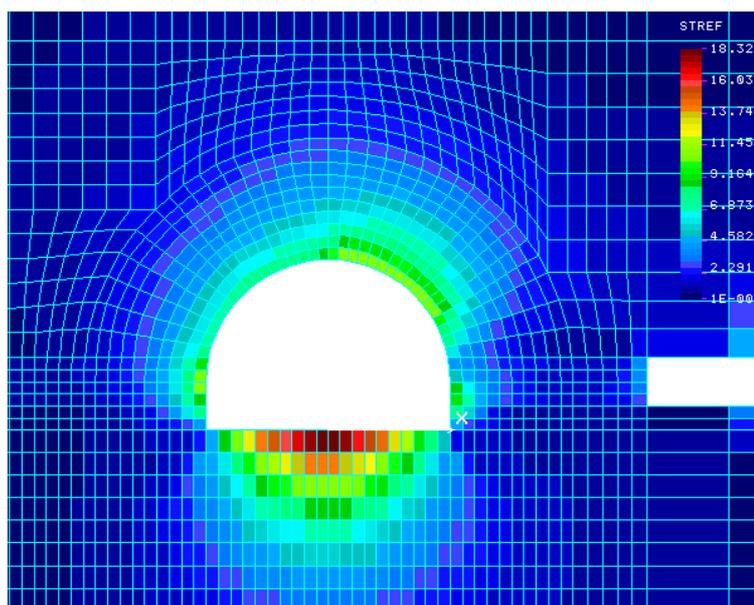


Рис. 4.19. Картина распределения величины  $\sigma_e/R_c$  в окрестности подготовительной выработки (ситуация 2)

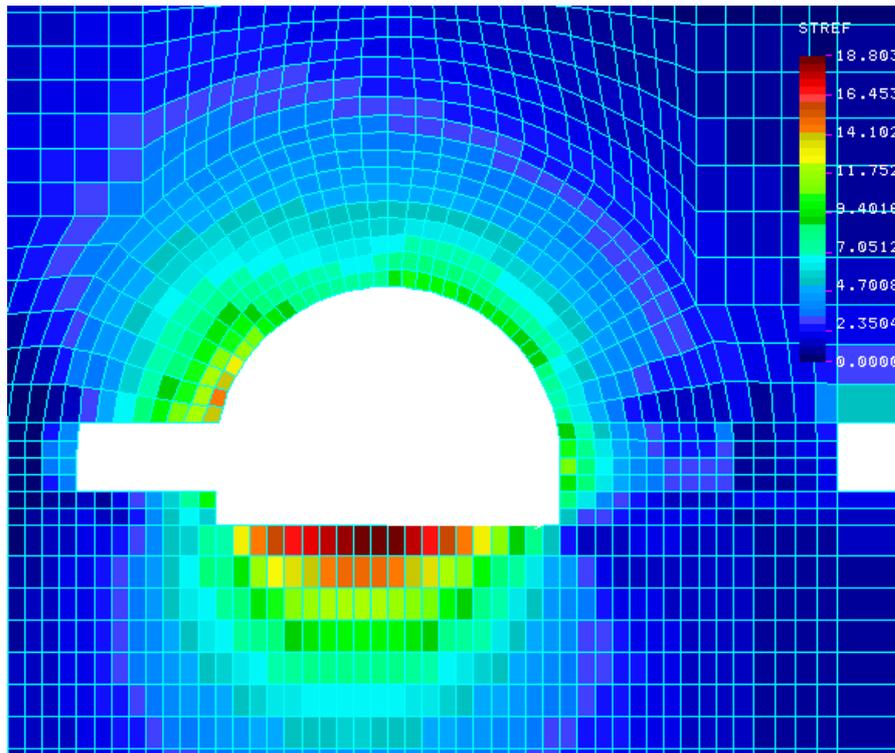


Рис. 4.20. Картина распределения величины  $\sigma_e/R_c$  в окрестности подготовительной выработки (ситуация 5)

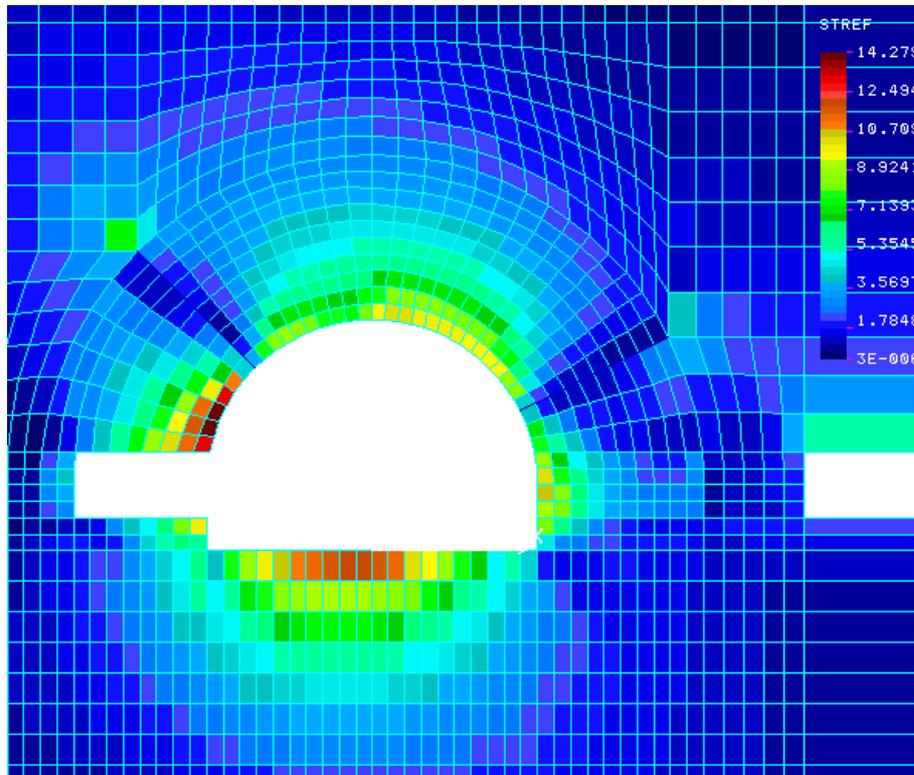


Рис. 4.21. Картина распределения величины  $\sigma_e/R_c$  в окрестности подготовительной выработки (ситуация 7)

По результатам расчетов построена зависимость изменения величины  $\sigma_e/R_c$  в окрестности подготовительной выработки от рассматриваемой ситуации рис. 4.22.

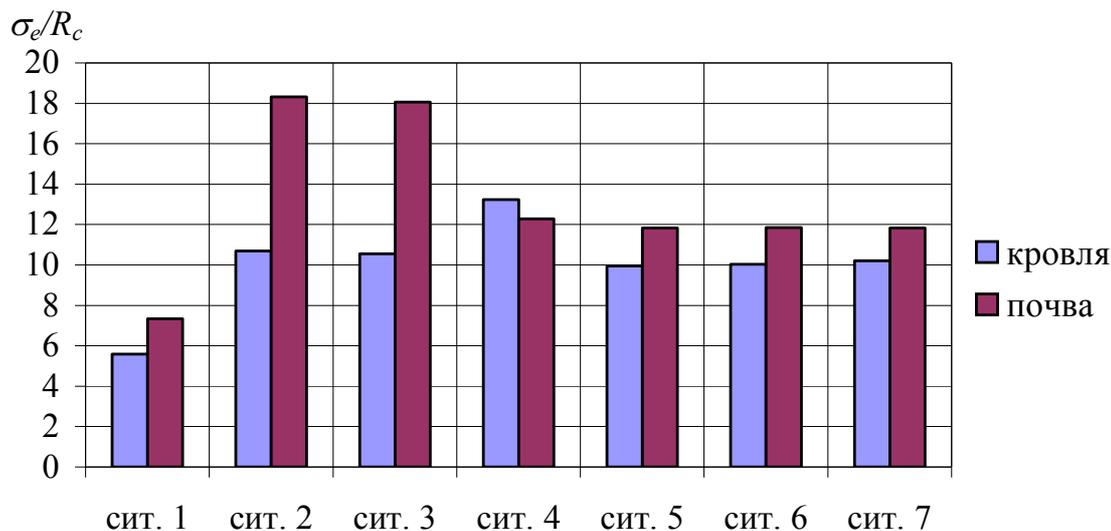


Рис. 4.22. Изменение величины  $\sigma_e/R_c$  в окрестности подготовительной выработки в зависимости от рассматриваемой ситуации

Наличие очистной выработки приводит к значительному увеличению напряжений на контуре подготовительной выработки (в почве на 90%, в кровле на 61%) (рис. 4.22).

Величина отношения  $\sigma_e/R_c$  в характерных точках в почве подготовительной выработки при выполнении камуфлетного взрывания снижается на 37% (рис. 4.20...4.22).

Напряжения в кровле подготовительной выработки практически равны (сит. 2, 3, 5, 6, 7), только при камуфлетном взрывании несколько увеличиваются (сит. 4) (рис. 4.22).

При наличии раскоски максимальные напряжения в почве подготовительной выработки смещаются в сторону массива (рис. 4.22).

На рис. 4.23...4.26 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 зоны недостаточно гладкие. Тем не менее, рис. 4.23...4.26 дают представление об общей форме и размерах области разрыхления.

Усредненный относительный радиус разрыхления вокруг подготовительной выработки составляет: ситуация 1 – 2,41, ситуация 2 – 2,56, ситуация 5 – 2,66; ситуация 7 – 2,66. При наличии лавы относительный радиус разрыхления возрастает (рис. 4.24), появление раскоски также приводит к увеличению радиуса (рис. 4.25), а установка анкеров не влияет на внешний радиус зоны разрыхления (рис. 4.25, 4.26).

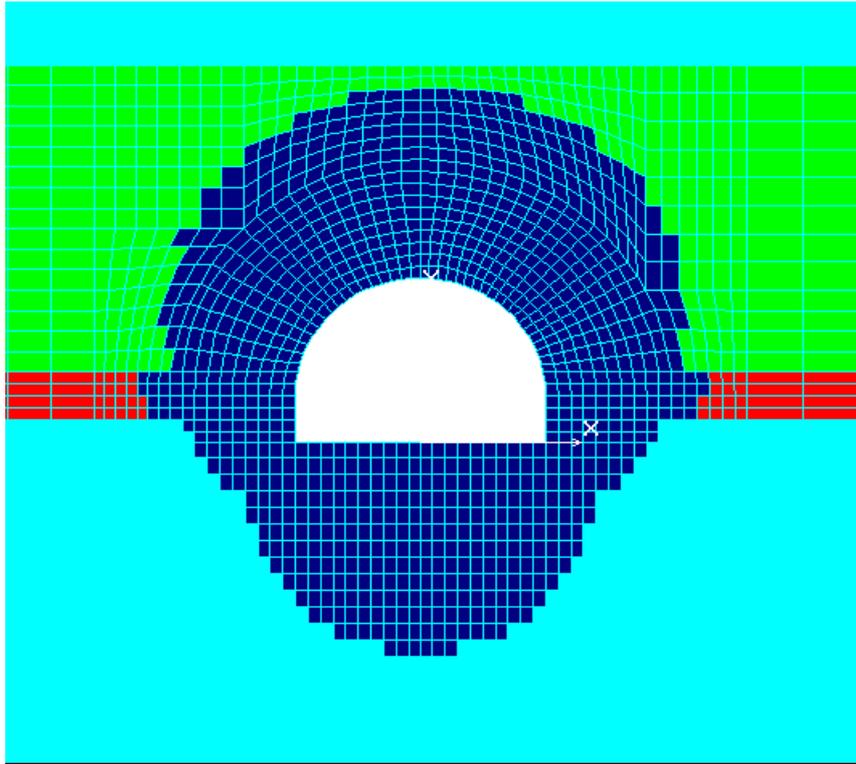


Рис. 4.23. Прилегающая к выработке зона разрыхления (ситуация 1)

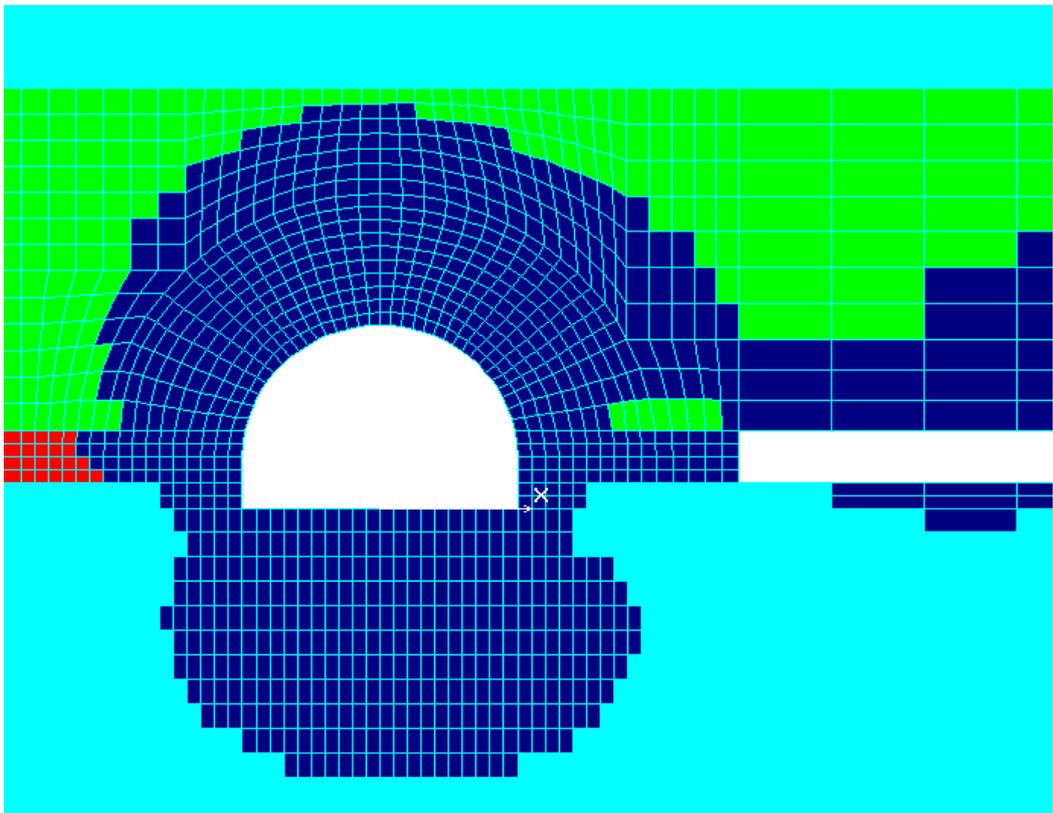


Рис. 4.24. Прилегающая к выработке зона разрыхления (ситуация 2)

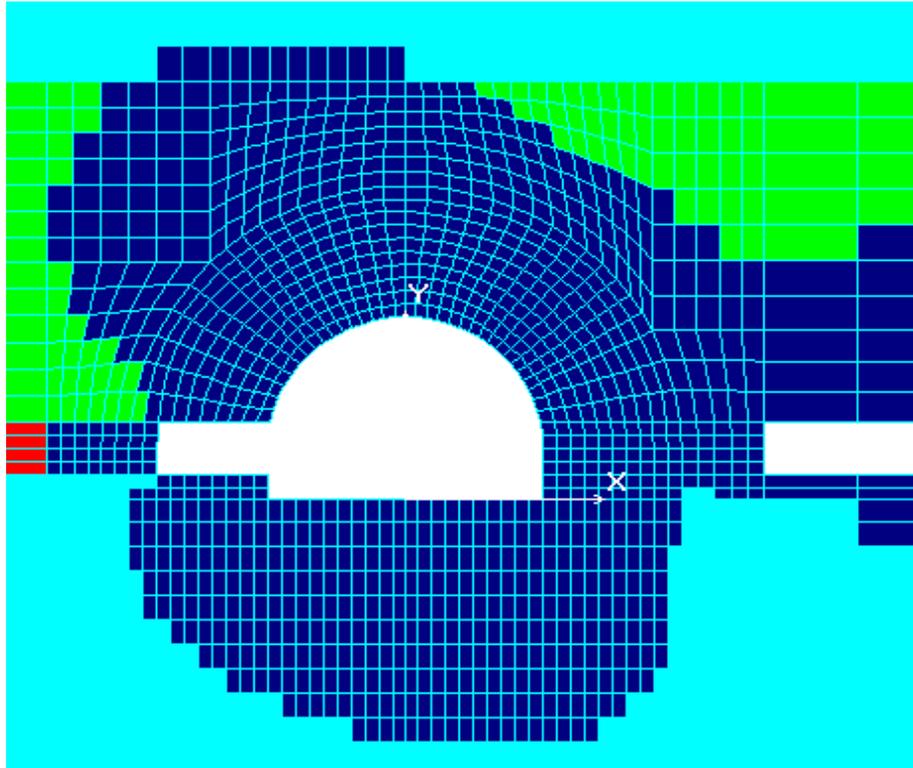


Рис. 4.25. Прилегающая к выработке зона разрыхления (ситуация 5)

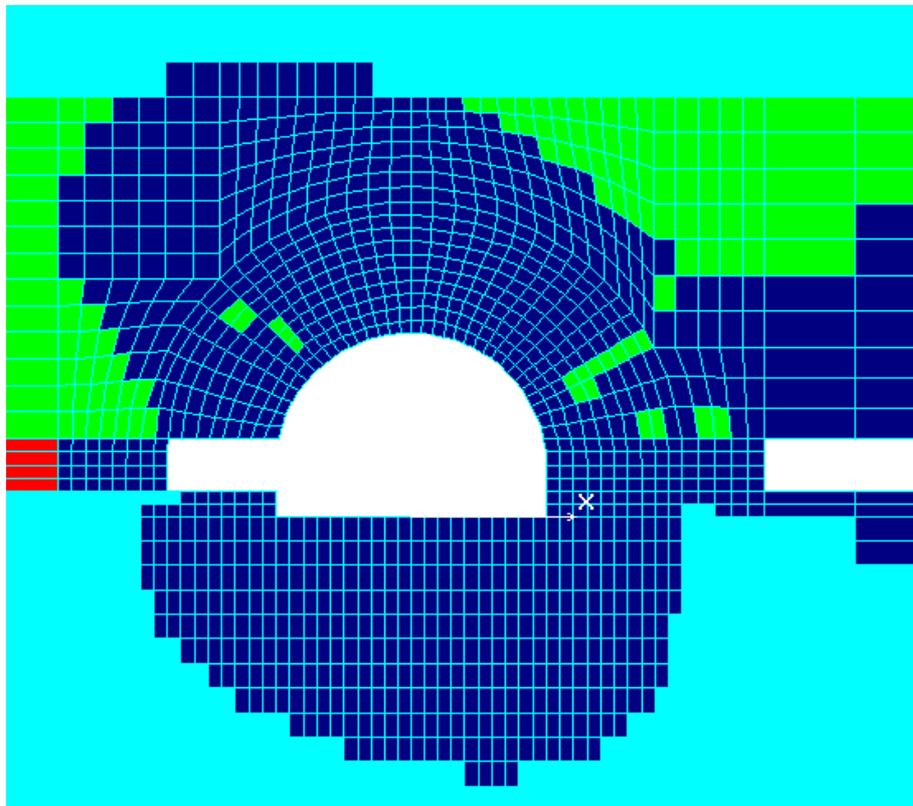


Рис. 4.26. Прилегающая к выработке зона разрыхления (ситуация 7)

На рис. 4.27...4.33 приведена картина неоднородности зон полных перемещений различного уровня в окрестности подготовительной выработки для всех рассмотренных ситуаций. Уровни перемещений (в метрах) даются на цветной шкале справа. Как видно из рис. 4.27...4.33 точка максимального поднятия пород почвы подготовительной выработки находится: выработка в неотронутом массиве – по центру (рис. 4.27), при наличии лавы – незначительно (0,15...0,2 м) смещается в сторону неотработанной части угольного пласта (рис. 4.28...4.30), при наличии лавы и раскоски – смещения в сторону неотработанной части угольного пласта составляют 0,5...0,6 м (рис. 4.31...4.33). По результатам численных расчетов построены зависимости изменения смещений в подготовительной выработке и раскоске в зависимости от рассматриваемой ситуации (рис. 4.34, 4.35).

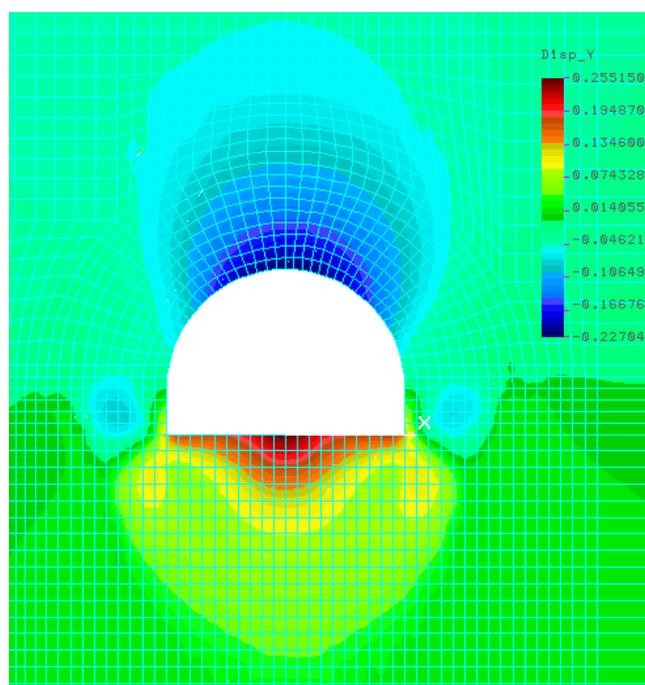


Рис. 4.27. Картина распределения полных перемещений (ситуация 1)

При выполнении всех мероприятий по охране и поддержанию подготовительной выработки, предложенных в настоящей работе, приведет к уменьшению величин смещений вертикальной и горизонтальной конвергенции, кровли и почвы (рис. 4.34). Наличие анкера над раскоской уменьшает величину конвергенции в раскоске более чем в два раза (рис. 4.35).

Согласно исследованиям, приведенным в работе [77], для обеспечения минимальной необходимой степени разрыхления угля достаточно взрывать 380 г угленита 10П, что обеспечивает уменьшение модуля упругости угольного пласта в 40 раз [78]. Таким образом, при выполнении взрывных работ принимаем в соответствии с пылегазовым режимом шахты указанное выше взрывчатое вещество в количестве 2 патрона на один шпур (масса патрона 200 г). Были выполнены исследования по определению расстояния между шпурами при их глубине – 2,2...2,5 м, результаты которых приведены на рис. 4.36.

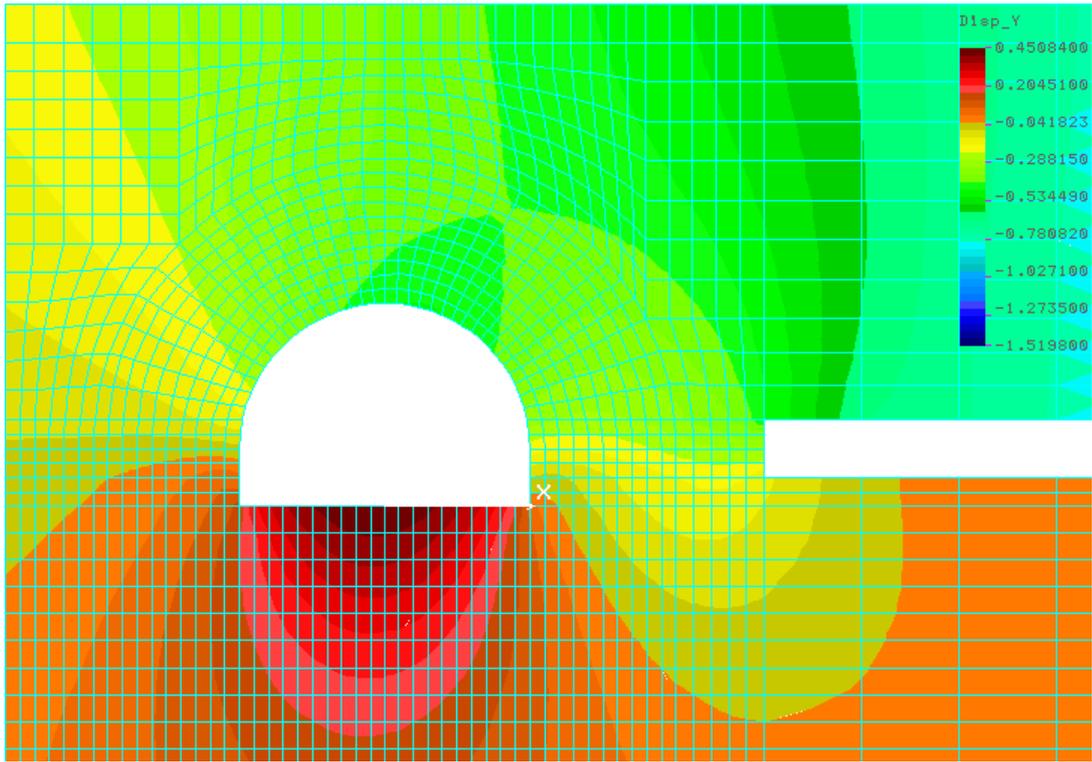


Рис. 4.28. Картина распределения полных перемещений (ситуация 2)

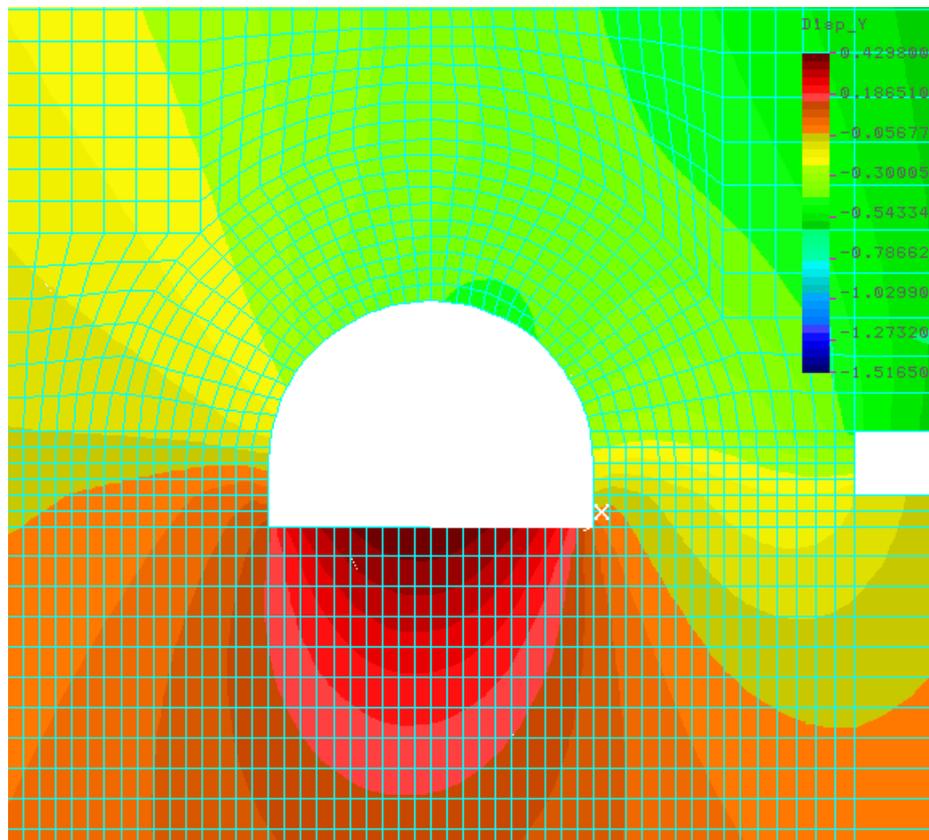


Рис. 4.29. Картина распределения полных перемещений (ситуация 3)

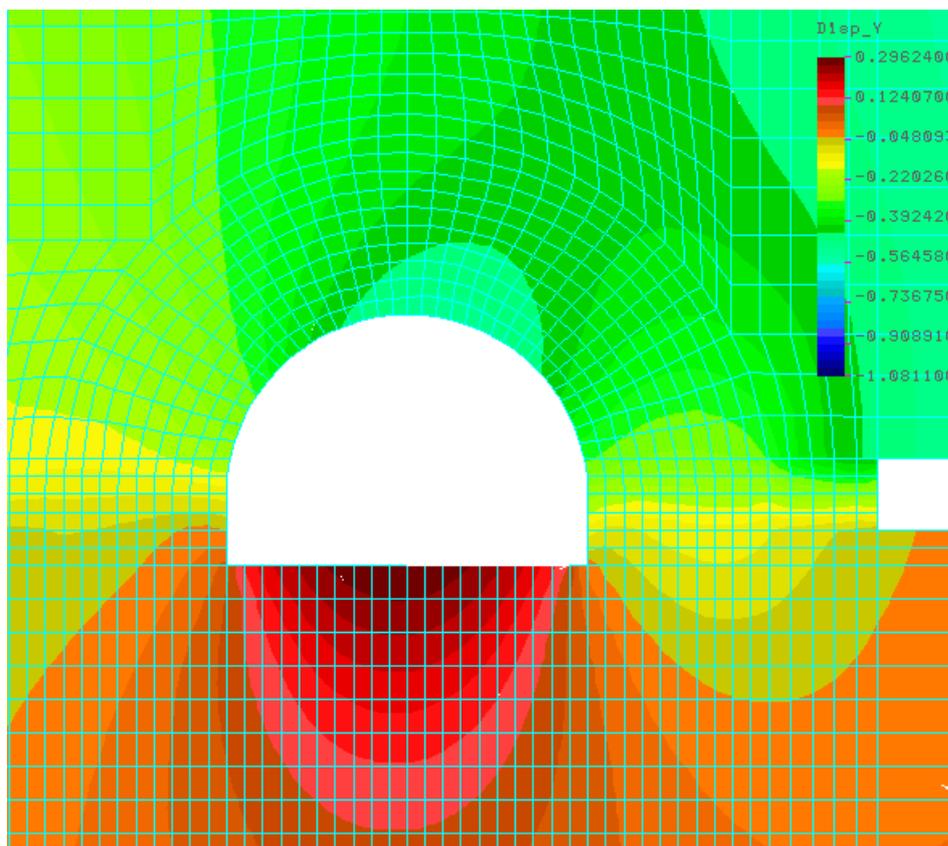


Рис. 4.30. Картина распределения полных перемещений (ситуация 4)

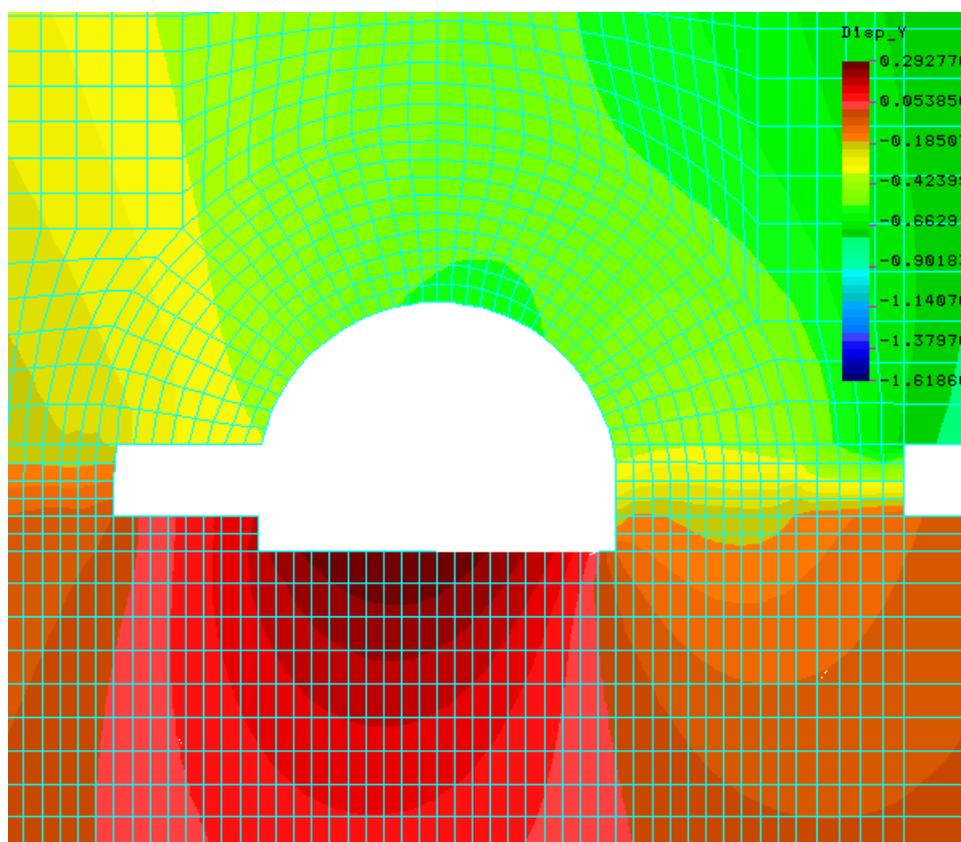


Рис. 4.31. Картина распределения полных перемещений (ситуация 5)

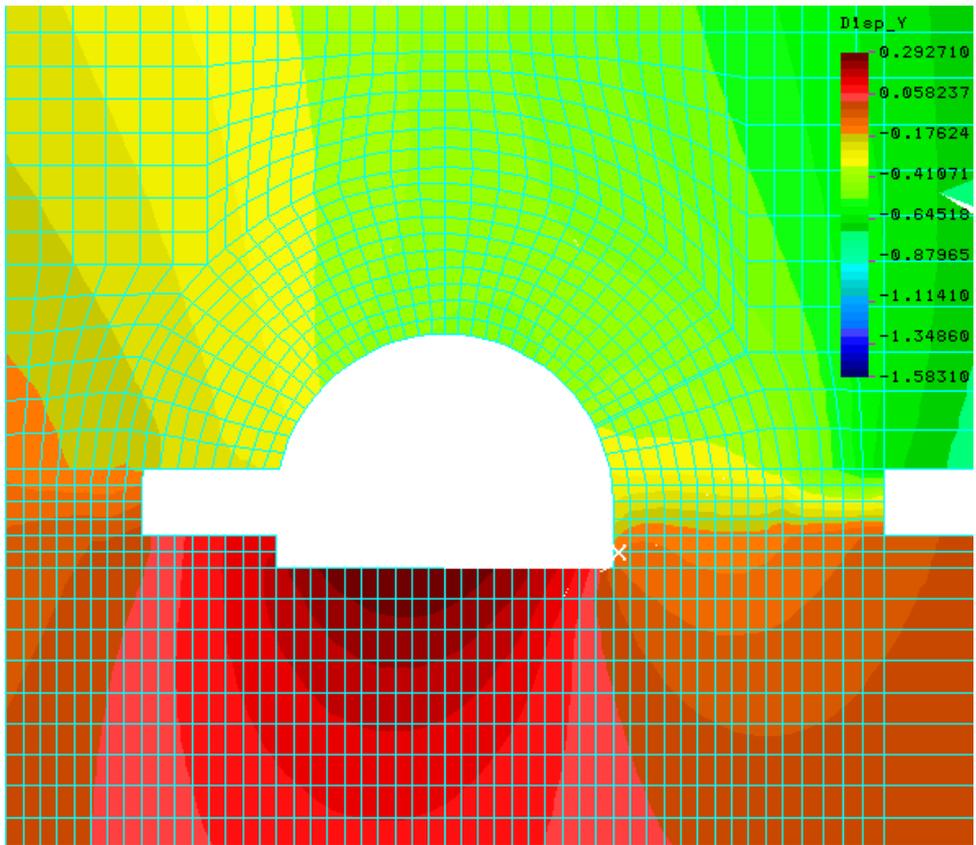


Рис. 4.32. Картина распределения полных перемещений (ситуация 6)

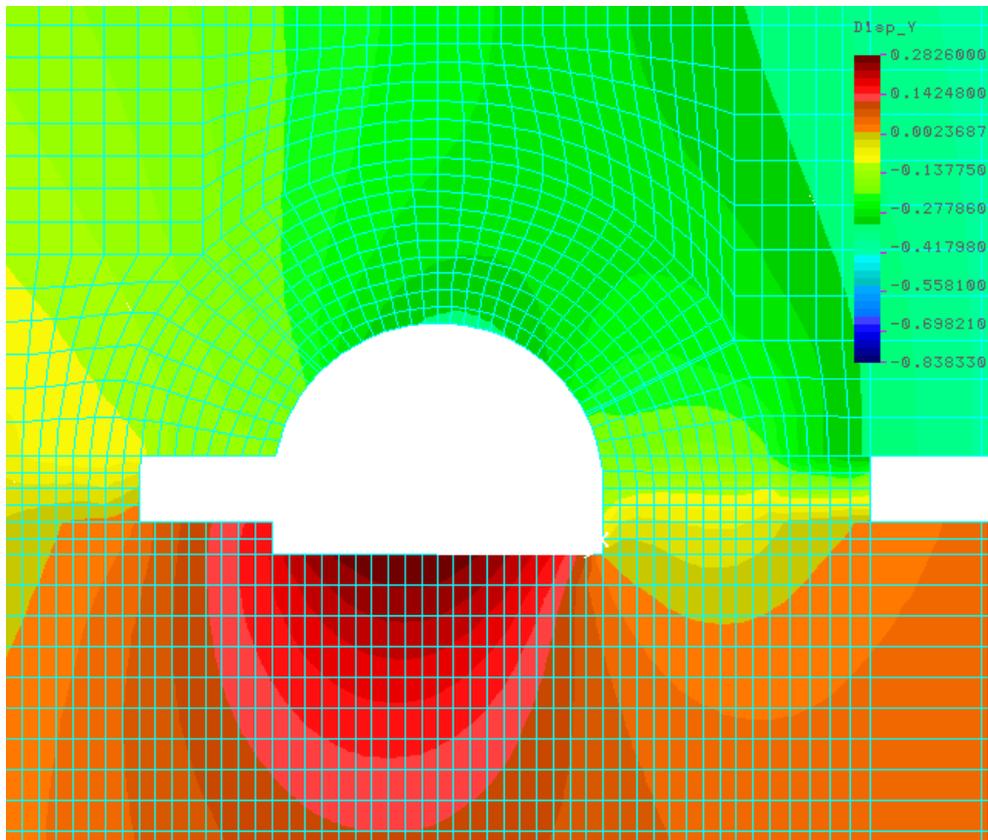


Рис. 4.33. Картина распределения полных перемещений (ситуация 7)

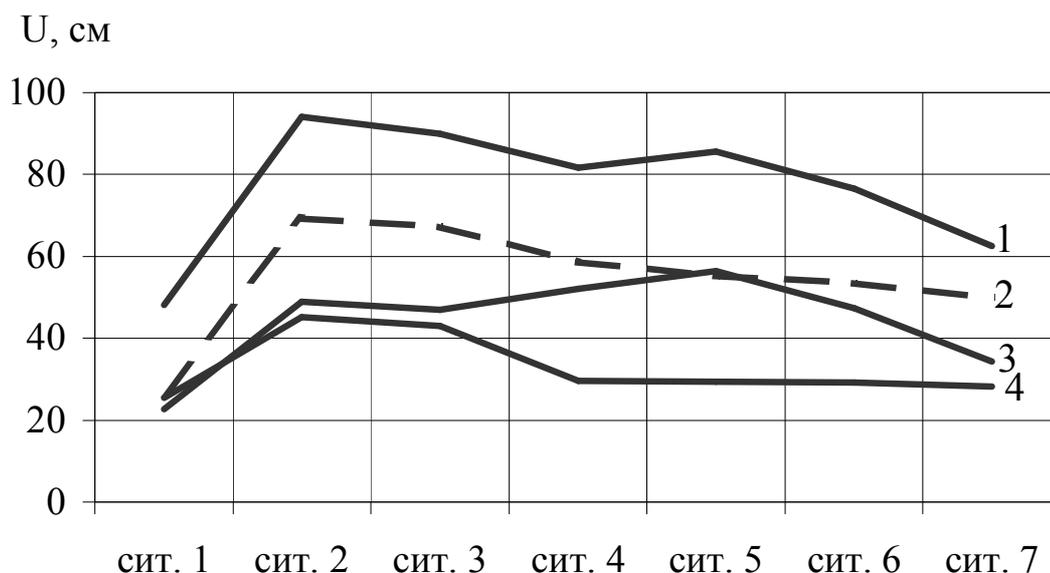


Рис. 4.34. Изменения величин смещения контура подготовительной выработки в зависимости от рассматриваемой ситуации: 1 – вертикальная конвергенция; 2 – горизонтальная конвергенция; 3 – смещения кровли; 4 – смещения почвы.

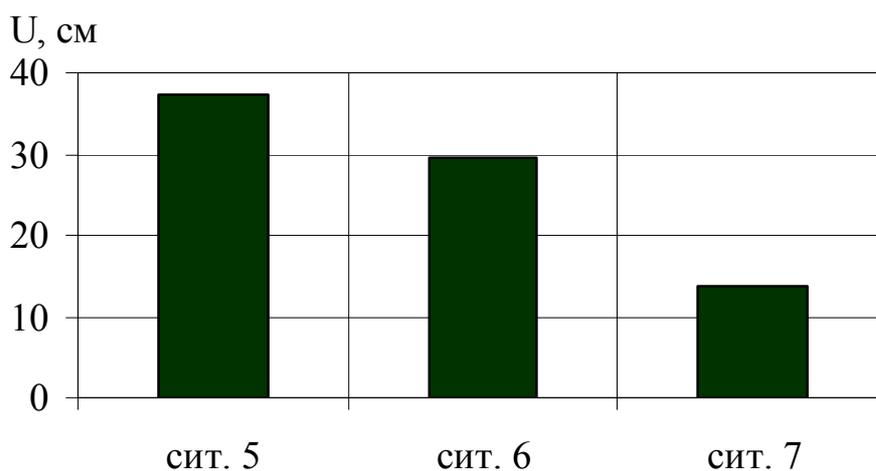


Рис. 4.35. Изменение величины вертикальной конвергенции в расколке в зависимости от рассматриваемой ситуации

Выполнение камуфлетного взрывания в боках подготовительной выработки приводит к уменьшению величины горизонтальной конвергенции на 13%, к уменьшению величины вертикальной конвергенции на 11%, к уменьшению величины поднятия почвы подготовительной выработки на 31% (рис. 4.34), но к увеличению смещений в кровле. Как видно из рис. 4.36 наименьшая величина вертикальной конвергенции будет при расположении шпуров на расстоянии 2,0 м. Поэтому, в дальнейшем, была рекомендована эта величина, как наиболее рациональная.

Для определения рациональной величины расколки было исследовано 10 моделей ( $l_p = 0,5 \dots 5,0$  м), для условий, описанных в ситуации 7. Критерий оценки – влияние размеров расколки на величину вертикальной конвергенции в

подготовительной выработке и объем подрываемых пород почвы. По результатам расчетов построена зависимость рис. 4.37.

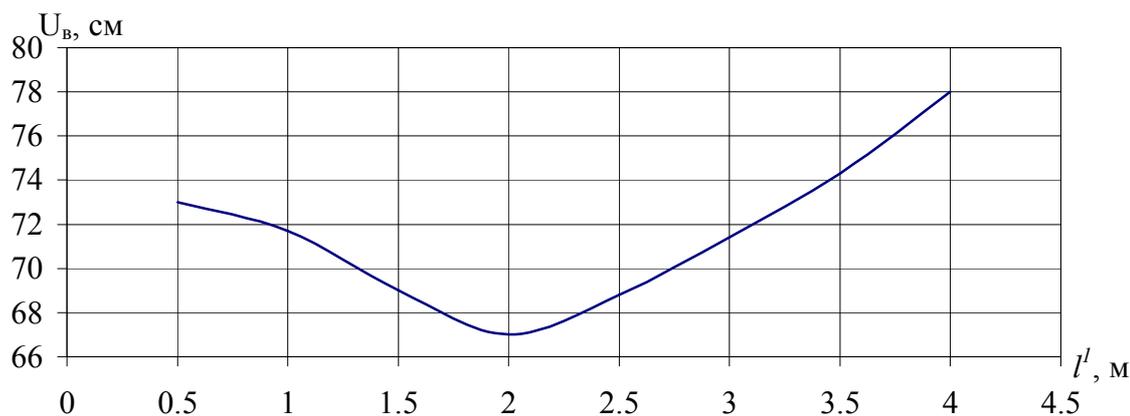


Рис. 4.36. Изменение величины вертикальной конвергенции в подготовительной выработке в зависимости от расстояния между шпурами камуфлетных зарядов

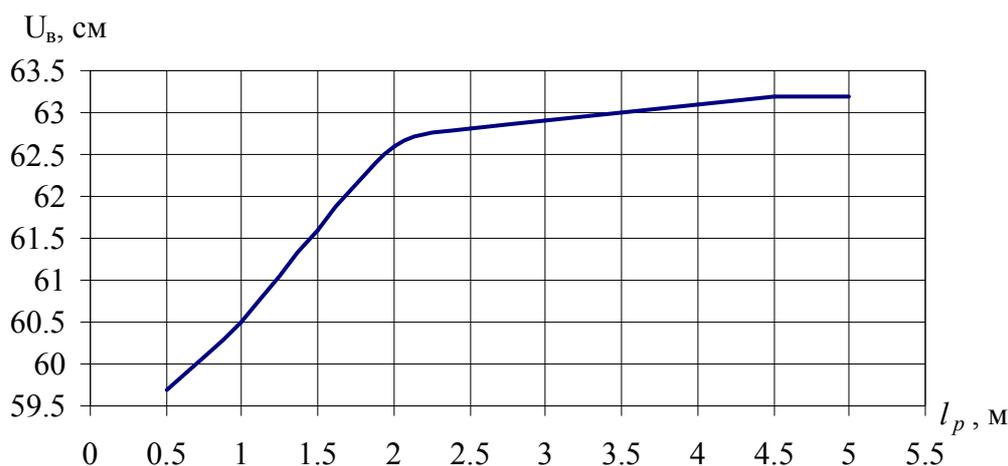


Рис. 4.37. Изменение величины вертикальной конвергенции в подготовительной выработке в зависимости от ширины раскоски

Исходя из изменения величины вертикальной конвергенции в подготовительной выработке и объемов подрываемой породы установлено, что наиболее рациональный размер раскоски составляет 2...2,5 м (рис. 4.37). Поскольку при увеличении размеров раскоски величина вертикальной конвергенции в подготовительной выработке изменяется не значительно и размер раскоски 2...2,5 м достаточен для размещения в ней пород от проведения подрывки.

Для определения места и угла установки анкеров было исследовано более 11 моделей. Критерий оценки работоспособности анкеров – величина изменения вертикальной конвергенции в подготовительной выработке. Варьировался угол наклона анкера к горизонту ( $\angle$ ), высота установки ( $h$ ) и количество анкеров. Промоделированы следующие варианты (рис. 4.38, 4.39):

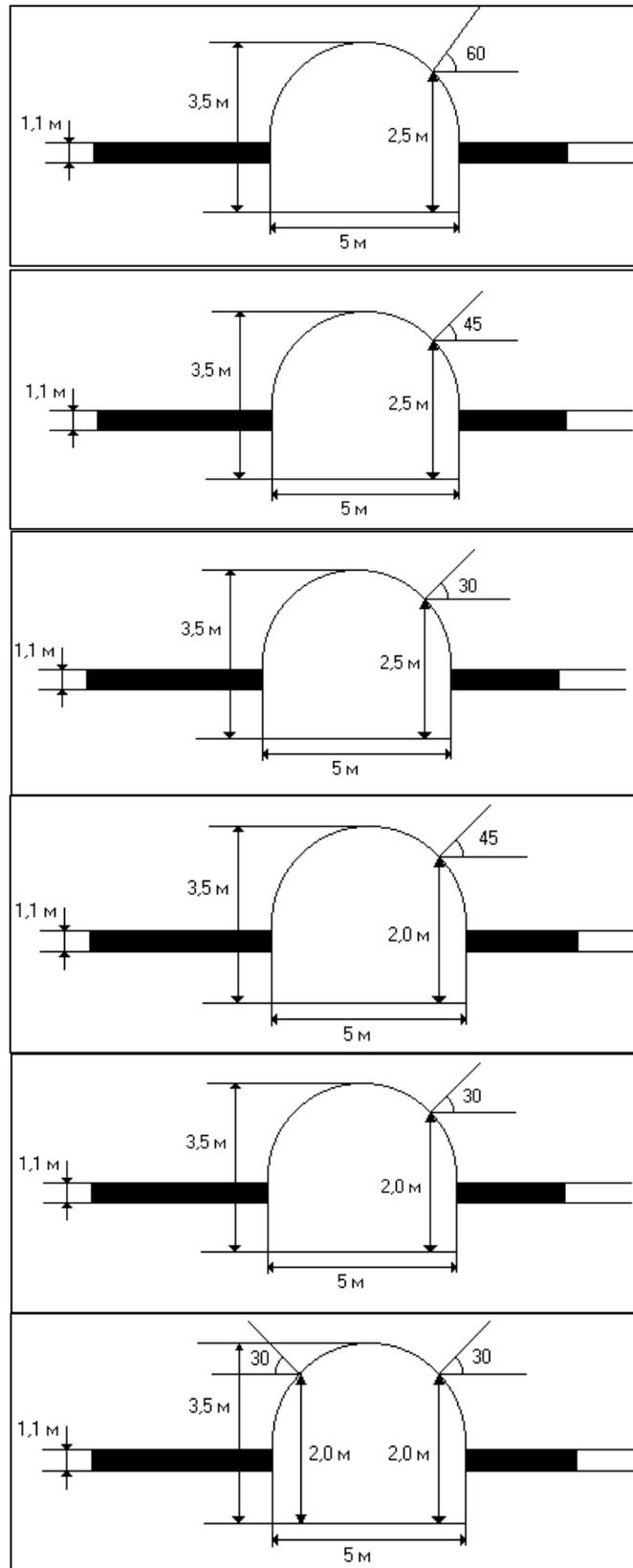


Рис. 4.38. Схемы для расчета места и угла установки анкеров

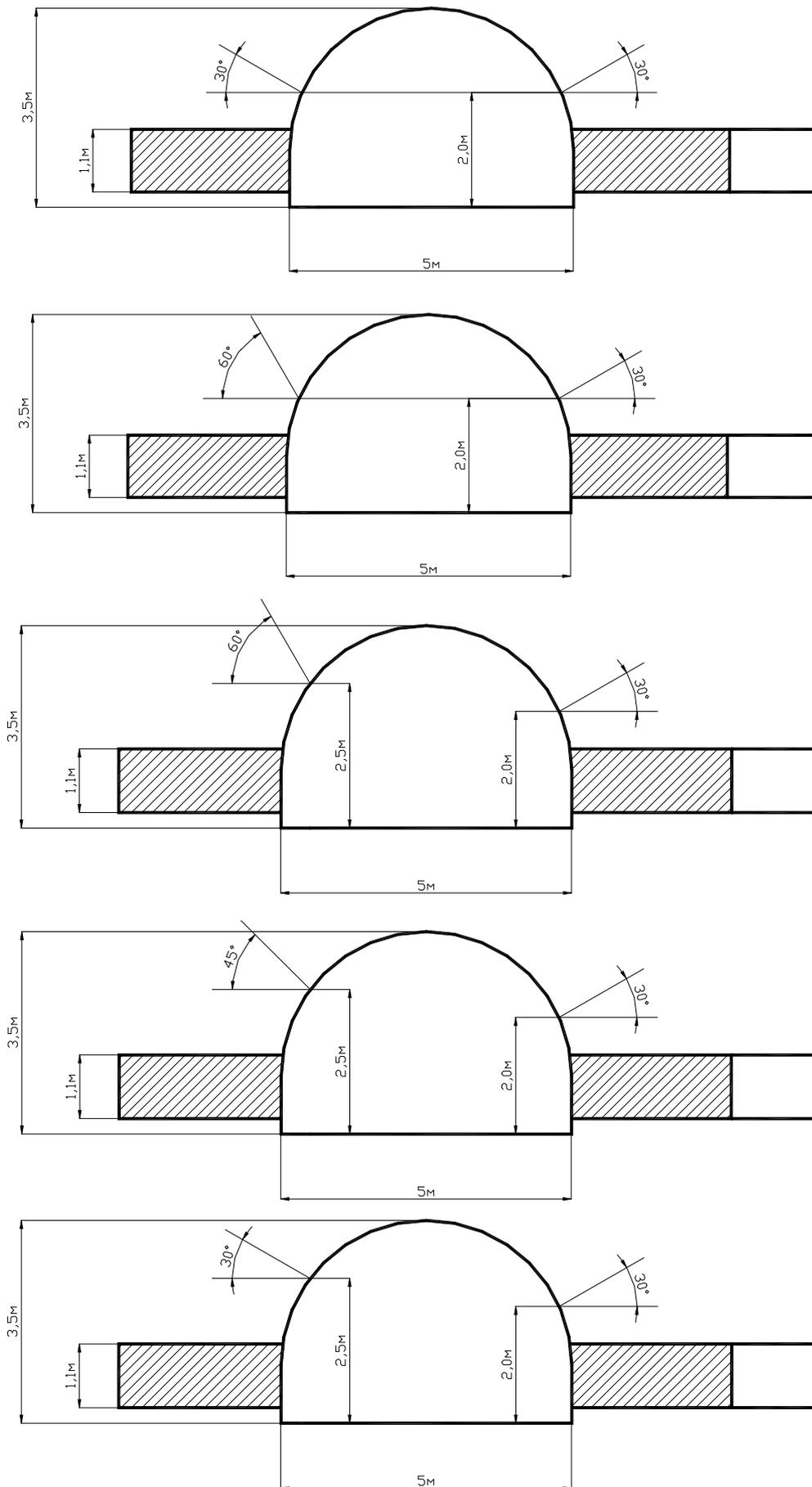


Рис. 4.39. Схемы для расчета места и угла установки анкеров

- 1 – один анкер со стороны лавы ( $\angle 60^{\circ}$ ,  $h = 2,5$  м);
- 2 – один анкер со стороны лавы ( $\angle 45^{\circ}$ ,  $h = 2,5$  м);
- 3 – один анкер со стороны лавы ( $\angle 30^{\circ}$ ,  $h = 2,5$  м);
- 4 – один анкер со стороны лавы ( $\angle 45^{\circ}$ ,  $h = 2,0$  м);
- 5 – один анкер со стороны лавы ( $\angle 30^{\circ}$ ,  $h = 2,0$  м);
- 6 – два анкера: один со стороны лавы ( $\angle 30^{\circ}$ ,  $h = 2,0$  м), другой со стороны массива ( $\angle 30^{\circ}$ ,  $h = 2,0$  м);
- 7 – два анкера: один со стороны лавы ( $\angle 30^{\circ}$ ,  $h = 2,0$  м), другой со стороны массива ( $\angle 45^{\circ}$ ,  $h = 2,0$  м);
- 8 – два анкера: один со стороны лавы ( $\angle 30^{\circ}$ ,  $h = 2,0$  м), другой со стороны массива ( $\angle 60^{\circ}$ ,  $h = 2,0$  м);
- 9 – два анкера: один со стороны лавы ( $\angle 30^{\circ}$ ,  $h = 2,0$  м), другой со стороны массива ( $\angle 60^{\circ}$ ,  $h = 2,5$  м);
- 10 – два анкера: один со стороны лавы ( $\angle 30^{\circ}$ ,  $h = 2,0$  м), другой со стороны массива ( $\angle 45^{\circ}$ ,  $h = 2,5$  м);
- 11 – два анкера: один со стороны лавы ( $\angle 30^{\circ}$ ,  $h = 2,0$  м), другой со стороны массива ( $\angle 30^{\circ}$ ,  $h = 2,5$  м).

На рис. 4.40 представлены изменение величины вертикальной конвергенции в подготовительной выработке в зависимости от количества, места и угла установки анкеров.

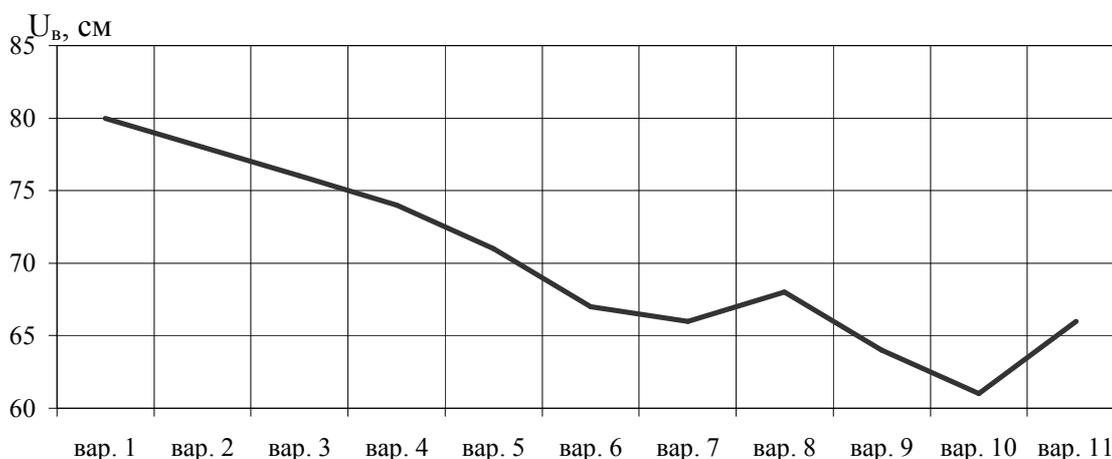


Рис. 4.40. Изменение величины вертикальной конвергенции в подготовительной выработке в зависимости от количества, места и угла установки анкеров

При установке двух сталеполлимерных анкеров жестко связанных с аркой со стороны лавы под углом  $30^{\circ}$  на высоте 2,0 м и со стороны целика под углом  $45^{\circ}$  на высоте 2,5 м от почвы выработки (ситуация 7, вариант 10), при всех прочих равных условиях, приводит к наименьшей вертикальной конвергенции в подготовительной выработке (рис. 4.40). Такое расположение анкеров является наиболее рациональным.

Результаты натурных измерений, физического и математического моделирования позволили построить обобщенный график изменения вертикальной конвергенции в подготовительной выработке (рис. 4.41), что дает возможность оценить и сравнить применяемые технические решения, полученные при натурных, лабораторных и численных экспериментах.

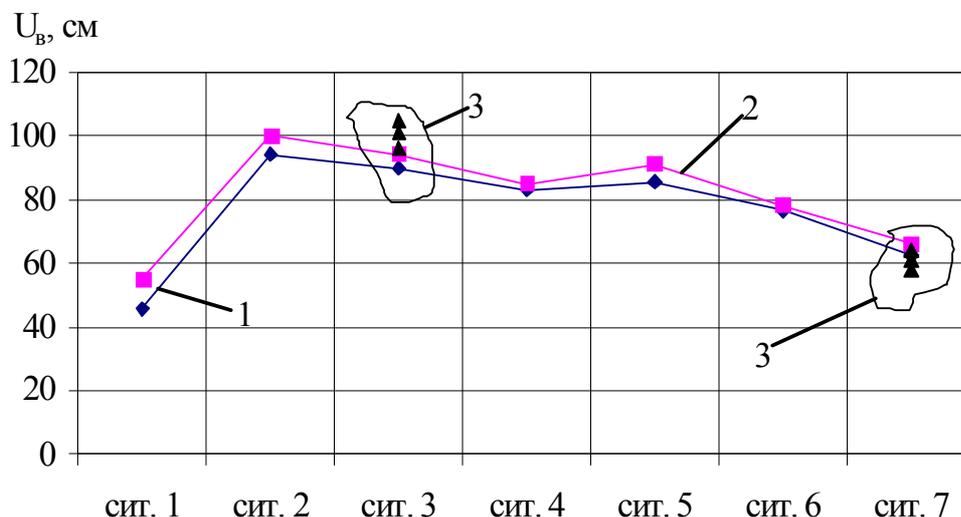


Рис. 4.41. Изменение величины вертикальной конвергенции в подготовительной выработке в зависимости от рассматриваемой ситуации: 1 – результаты математического моделирования; 2 – результаты физического моделирования; 3 – результаты шахтных наблюдений.

Результаты, полученные при натурных измерениях, физическом и математическом моделировании, практически совпадают (расхождения составляют 14,4%) (рис. 4.41). Это подтверждает правильность выбора моделей и позволит, в дальнейшем, обосновывать параметры предложенного способа охраны и поддержания подготовительных выработок для различных горно-геологических условий.

Таким образом, в горно-геологических условиях ПАО «ДТЭК Шахта Комсомolec Донбасса» обрушение основной кровли в лаве, с большой долей вероятности (до 95%), будет происходить при обнажениях кровли около 40 м.

Необходимую устойчивость и безремонтное поддержание подготовительных выработок, в рассматриваемых горно-геологических условиях, возможно, обеспечивается путем применения комбинированного геомеханического способа управления горным давлением, при котором уменьшается величина горизонтальной и вертикальной конвергенции в выработке на 30%. Рекомендуемые параметры способа: раскоска шириной 2...2,5 м, со стороны лавы под углом 30° на высоте 2,0 м и со стороны целика под углом 45° на высоте 2,5 м от почвы выработки сталеполимерные анкеры длиной 2,5 м, жестко связанных с аркой, камуфлетное взрывание: глубина шпуров 2,2...2,5 м, масса заряда 400 г, расстояние между шпурами 2,0 м.

## ГЛАВА 5

### ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ ПРИ НОВОМ СПОСОБЕ ОХРАНЫ И ПОДДЕРЖАНИЯ

#### 5.1. Горно-геологические условия экспериментального участка

Для проведения шахтных исследований был выбран экспериментальный участок (40 м) в подготовительной выработке, которая проводится по пласту  $l_4$  простого строения общей геологической мощностью 1,01 м, полезная мощность 0,9 м. Угольный пласт залегает под углом  $3...8^{\circ}$ , кливаж имеет азимут падения  $145^{\circ}$ , угол падения  $\angle 72^{\circ}$ ,  $\sigma_{сж} = 15$  МПа,  $f = 1...1,5$ . Физико-механические свойства определены по скважине У-3842. Стратиграфическая колонка пласта  $l_4$  представлена на рис. 2.4. Контакты угля с кровлей и почвой волнистые, извилистые, четкие. Качество угля:  $A^d = 9,4$ ,  $S^{об} = 2,8$ ,  $Q = 3262$ ,  $\gamma_{об.вес} = 2,4$  т/м<sup>3</sup>. К самовозгоранию не склонен, не взрывоопасен, не опасный по горным ударам, угрожаемый по внезапным выбросам угля и газа с отметки 389 м. Минеральные включения: сидеритовые пачки и конкреции колчедана размером 0,01 x 0,05 x 0,07 м. Локальные изменения морфологии пласта представлены: размывами, утолщениями и фациальными замещениями пласта, внедрением терригенных и карбонатных пород, раздувами и пережимами пласта. Приток воды 5 м<sup>3</sup>/час, редкий капез. Природная газоносность – 28,4...29,0 м<sup>3</sup>/т.д.г.м. Локальными газопроявлениями являются суфляры, отжим угля, газодинамика пласта – в зонах дизъюнктивных нарушений пласта и вмещающих пород.

Непосредственная кровля пласта  $l_4$  – глинистый сланец; структура тонкозернистая, текстура полосчатая, слоистая, крепость:  $f = 4$ , по буримости – XI. Минеральные включения: известковые и сидеритовые пачки, отпечатки детритов, мощность слоя 5,6...9,3 м. Трещиноватость – 5...10 тр/п.м, контакты с соседними слоями постепенные, согласные, обводненность до 5 м<sup>3</sup>/час. Кливаж имеет азимут падения  $50^{\circ}$ , угол падения  $\angle 58^{\circ}$ .

Почва пласта  $l_4$  – песчанистый сланец; серый, мелкозернистый, слабослоистый, крепость  $f = 4...6$ , по буримости – XIII, слабо склонен к размоканию, склонен к пучению, обводненность до 5 м<sup>3</sup>/час, силикозоопасен.

Тектоническая нарушенность и трещиноватость – гипсометрия пласта волнистая. Преобладает мелкопликативная и тектоническая нарушенность пласта с  $h = 0,1...0,5$  м дизъюнктивного характера с элементами залегания сместителей. Азимут падения  $144^{\circ}$ , угол падения  $\angle 70^{\circ}$ , ширина зоны влияния до 5,0 м. преобладают две системы трещиноватости, ориентировка трещин: 1 – азимут падения  $90^{\circ}$ , угол падения  $\angle 45^{\circ}$ , 2 – азимут падения  $180^{\circ}$ , угол падения  $\angle 45^{\circ}$ .

#### 5.2. Технология выполнения работ при реализации нового способа охраны и поддержания подготовительных выработок

Проведение выработки ведется комплексной суточной бригадой. Режим работы забоя 4-х сменный – 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 4ПП-2М, который производит отбойку и погрузку горной массы. Отбитая горная масса комбайном грузится на скребковый конвейер. После выемки комбайном горной массы на 2,0 п.м. комбайн отгоняется от забоя и производится установка основной – арочной крепи и дополнительной – два анкера длиной 2,5 м в соответствии с параметрами обоснованными в разделах 3 и 4 (паспортом проведения и крепления подготовительной выработки) и затяжка кровли. 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 быстротвердеющих составов на основе смол органического и минерального происхождения. Сталеполимерные анкера 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 раскоски (ширина раскоски 2...2,2 м). После этого выполняют камуфлетное взрывание в пределах угольного пласта на глубине 2...2,5 м. Далее выполняют затяжку боков выработки. После этого цикл повторяется.

После прохода первой лавы в подготовительной выработке выполняют подрывку вспученных пород почвы, размещая ее в раскоске. 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 по вентиляционным прорезиненным трубам диаметром 800 мм (в приза-

бойной части 600 мм). Контроль количества воздуха, поступающего в забой, осуществляется аппаратурой АПТВ.

Непрерывный автоматический контроль за содержанием метана в призабойном пространстве и в исходящей из забоя струе воздуха осуществляется аппаратурой автоматической газовой защиты АТ-3-1.

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 экспериментальным участком**

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, в настоящей работе за основную 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) 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.

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.

Поскольку методикой исследований предусматривались длительные инструментальные наблюдения, то была принята следующая частота замеров: в первые 20 суток – 1 раз в сутки, в период 20 суток...3 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.

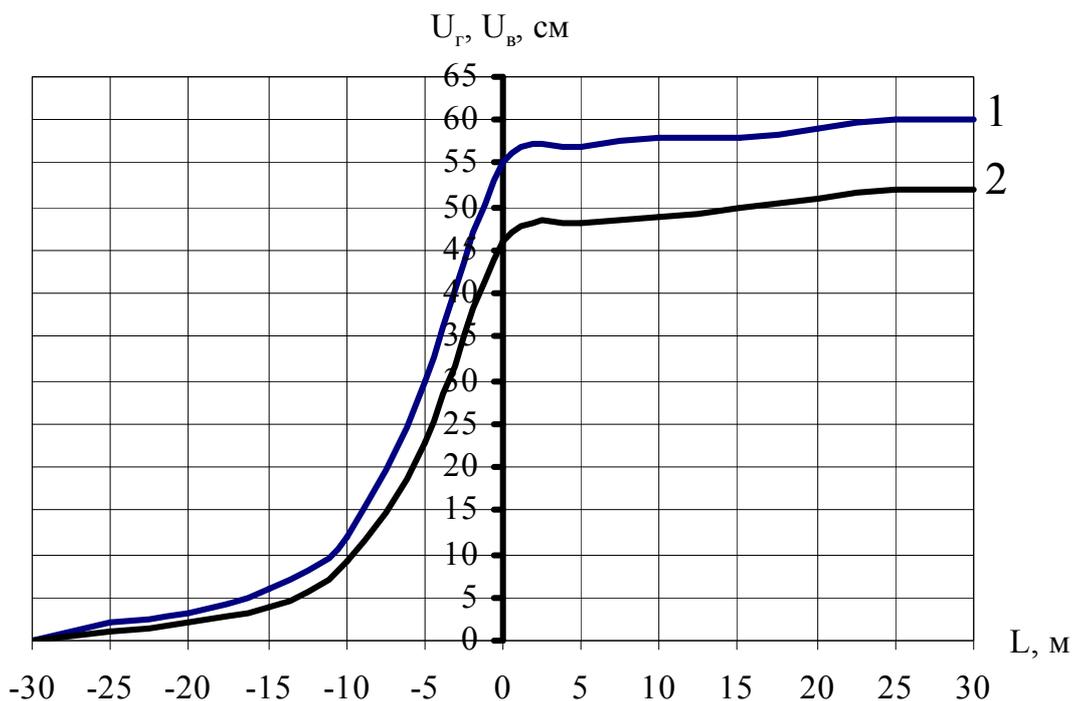


Рис. 5.1. Изменения величины вертикальной 1 и горизонтальной 2 конвергенции на экспериментальном участке в зависимости от места нахождения лавы

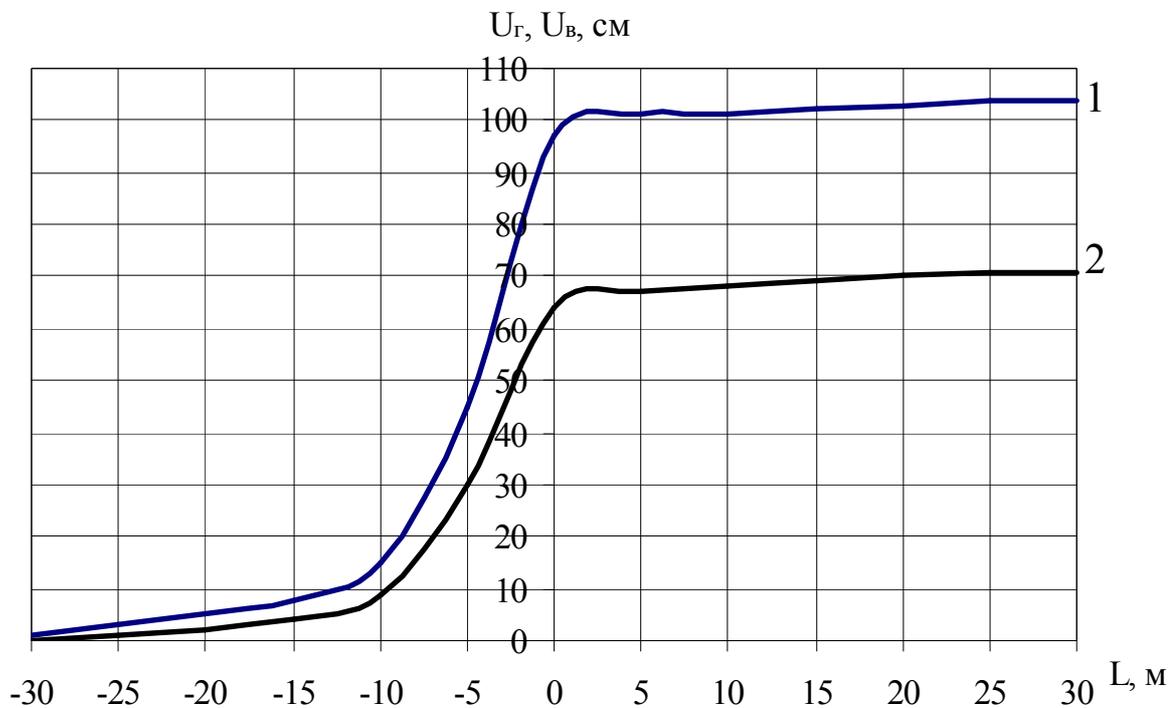


Рис. 5.2. Изменения величины вертикальной 1 и горизонтальной 2 конвергенции на контрольном участке в зависимости от места нахождения лавы

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 (см. рис. 5.1, 5.2). Данные измерений показали, что продолжительность интенсивного периода смещений для экспериментального участка составляет 1...2 дня, а для контрольного – 2...3 дня.

Скорости смещений контура вмещающих пород в интенсивном периоде формирования зоны нарушенных пород характеризуются большими величинами для экспериментального участка – 22 см/сут. дня, а для контрольного – 31 см/сут.

В сложных горно-геологических условиях ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса» 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.

При применении шахтного способа охраны и поддержания подготовительных выработок выполняют подрывку пород почвы два раза: перед проходом лавы и после. При использовании нового способа подрывку нужно выполнять один раз, после прохода лавы, и значительно меньших объемов.

#### **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 подрывки вспученных пород почвы, отсутствия транспортировки пород после подрывки. Сравнительная экономическая эффективность применения нового способа в подготовительных выработках, вычисляется по прямым затратам в денежном выражении.

При этом учитываются затраты на:

- 1) подрывку пород почвы;
- 2) транспортировка пород после подрывки;
- 3) установка крепи усиления;
- 4) проведение и крепление раскоски;
- 5) анкерная крепь;
- 6) перестилка рельсового пути.

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

Общий экономический эффект применения нового способа в подготовительных выработках складывается из общей экономической эффективности его применения по всем выработкам, имеющихся на шахте.

Таким образом, шахтные наблюдения показали, что величина и скорость смещения пород кровли, почвы и боков подготовительных выработок при новом способе охраны и поддержания, значительно меньше, чем при шахтном.

Параметры способа охраны и поддержания: камуфлетное взрывание в пределах пласта с обеих сторон подготовительной выработки, установка двух сталеполимерных анкеров жестко связанных с аркой со стороны лавы под углом  $30^\circ$  на высоте 2,0 м и со стороны целика под углом  $45^\circ$  на высоте 2,5 м от почвы выработки, раскоска с размером 2...2,5 м являются достаточными для поддержания подготовительных выработок в эксплуатационном состоянии для повторного их использования в условиях ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе впервые установленных закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния породного массива под воздействием комплекса мероприятий, которые направлены на снижение негативного влияния повышенного горного давления, решена актуальная научно-техническая задача повышения устойчивости подготовительных выработок с пучащими породами почвы в зоне влияния очистного пространства.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

На основе выполнения совокупности визуальных и инструментальных наблюдений за проявлениями горного давления в подготовительных выработках ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса», а также математического моделирования установлено, что в рассматриваемых горно-геологических условиях снижение устойчивости выработок обусловлено интенсивным поднятием почвы с периодичностью, которая совпадает с периодичностью обрушения кровли лавы, и для условий ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса» составляет 35...40 м, что позволило разработать комплекс мероприятий по охране подготовительной выработки от негативного воздействия горного давления в зоне влияния очистных работ.

На основе моделирования породного массива эквивалентными материалами установлено, что осуществление полного комплекса предложенных мероприятий уменьшает деформации контура выработки, а именно: разрыхление пород в боках выработки вследствие камуфлетного взрывания уменьшает величину горизонтальной конвергенции на 20%, а вертикальной – на 11% по сравнению с существующим на шахте способом охраны; установка анкеров уменьшает и горизонтальную и вертикальную конвергенцию в выработке на 30%, а в раскосе – на 65%, что подтверждает эффективность предложенного комплексного способа охраны выработки в условиях пучения пород почвы.

На основе математического моделирования деформационных процессов вокруг сопряжения лавы и штрека установлены закономерности изменения НДС массива в зависимости от характеристик средств охраны подготовительной выработки, что позволило для условий ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса» определить рациональные параметры нового комплексного способа предотвращения негативного воздействия горного давления в зоне влияния очистных работ, а именно: глубина шпуров для камуфлетного взрывания – 2,2...2,5 м; расстояние между шпурами – 2,0 м, ширина раскоски со стороны массива – 2,0...2,5 м; углы установки анкеров –  $45^{\circ}$  со стороны массива и  $30^{\circ}$  со стороны лавы, высота установки анкеров от почвы – 2,5 и 2,0 м соответственно, длина анкеров – 2,5 м.

На основе выполненных исследований получен патент Украины, а также разработаны и утверждены рекомендации по повышению устойчивости подготовительных выработок с пучащей почвой в зоне влияния очистных работ, которые использованы при поддержании конвейерных штреков ПАО «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гринько Н.К. Повышение технического уровня угольной промышленности / Н.К. Гринько, Н.А. Архипов. – М.: Недра, 1991. – 222 с.
2. Голицын М.В. Все об угле / М.В. Голицын, А.М. Голицын. – М.: Наука, 1989. – 192 с.
3. Доброгорский Н.А. Уголь вчера, сегодня, завтра / Н.А. Доброгорский, В.И. Бычков. – Днепропетровск: Січ, 1994. – 93 с.
4. Красник В.Г. Программы перспективного развития угольной промышленности Украины / В.Г. Красник // Уголь Украины. – 2006. – № 12. – С. 6-8.
5. Концепція розвитку вугільної промисловості // Уголь Украины. – 2005. – № 9. – С. 3-4.
6. Янко С.В. Основные направления технического развития шахт Украины / С.В. Янко // Уголь Украины. – 1993. – №1. – С. 8-11.
7. 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.
8. Повышение устойчивости подготовительных выработок угольных шахт / И.Ю. Заславский, В.Ф. Компанец, А.Г. Файвишенко, В.М. Клещенко. – М.: Недра, 1991. – 235 с.
9. Безремонтное содержание горных выработок при разработке тонких и средней мощности угольных пластов / Барановский В.И., Весков М.И., Графова А.Я. и др. – М.: ЦНИЭИуголь, 1973. – 40 с.
10. Селезень А.П. Состояние подготовительных выработок и пути повышения их устойчивости / А.П. Селезень // Уголь Украины. – 1987. – №5. – С. 25-27.
11. Косков И.Г. Основные направления совершенствования крепления горных выработок / И.Г. Косков // Шахтное строительство. – 1985. – №1. – С. 3-5.
12. Кошелев К.В. Поддержание сопряжений горных выработок / Кошелев К.В., Игнатович Н.В., Полтавец В.И. – К.: Техника, 1991. – 176 с.
13. Городничев В.М. Современные методы борьбы с пучением горных пород / Городничев В.М. – М.: Госгортехиздат, 1960. – 100 с.
14. Белов В.И. Исследование явлений пучения в горных выработках / В.И. Белов // Горный журнал. – 1929. – №1. – С. 45-49.
15. Меликсетов С.С. Борьба с поддуванием почвы в выработках шахты № 8 Ростовуголь/ С.С. Меликсетов // Уголь. – 1940. – №11. – С. 33-36.
16. Сонин С.Д. Борьба с пучением почвы горных выработок взрыванием камуфлетных зарядов / С.Д. Сонин, М.Н. Шейхет, И.Л. Черняк // Шахтное строительство. – 1961. – № 3. – С. 8-10.
17. Лыткин В.А. Механизм пучения пород в подземных выработках / Лыткин В.А. – М.: Наука, 1965. – 131 с.
18. Вестер А. Упрочнение почвы главных и выемочных штреков / А. Вестер // Глюкауф. – 1971. – № 9. – С. 6-14.

19. Ольденготт М. Поднятие почвы в выработках каменноугольных шахт и борьба с ним / М. Ольденготт // Глюкауф. – 1981. – №14. – С. 3-11.
20. Максимов А.П. Выдавливание горных пород и устойчивость подземных выработок / А.П. Максимов. – М.: Госгортехиздат, 1963. – 144 с.
21. Ольденготт М. Крепление анкерами почвы выемочных штреков / М. Ольденготт // Глюкауф. – 1979. – № 14. – С. 12-18.
22. Пищулин В.В. Особенности поддержания горных выработок в условиях пучащих пород / В.В. Пищулин // Крепление, поддержание и охрана горных выработок. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР. – 1979. – С. 55-57.
23. Кириченко В.Я. О механизме пучения почвы выработок, сооружаемых в слабых породах / В.Я. Кириченко, А.В. Шмиголь, В.Н. Рева // Шахтное строительство. – 1988. – № 11. – С. 3-5.
24. Шмиголь А.В. Обоснование способа и средств крепления выемочных штреков в условиях шахт Западного Донбасса: дисс... кандидат техн. наук: 05.15.04 / Шмиголь А.В. – Днепропетровск, 1989. – 210 с.
25. Глушко В.Т. Проявление горного давления в глубоких шахтах / В.Т. Глушко. – К.: Наукова думка, 1971. – 195 с.
26. Борзых А.Ф. Расчет ожидаемых нагрузок на опоры из железобетонных блоков для охраны подготовительных выработок / А.Ф. Борзых, А.А. Данилов, А.В. Тоцкий // Уголь. – 1988. – № 9. – С. 11-14.
27. Диманштейн А.С. Охрана Выемочных выработок полосами из твердеющих материалов на шахтах ПО “Ровенькиантрацит” / А.С. Диманштейн, Ф.А. Чакветадзе // Вопросы проведения, крепления и поддержания горных выработок. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского. – 1988. – С. 95-99.
28. Каталог типовых условий эксплуатации механизированных комплексов на пологонаклонных (до 35<sup>0</sup>) пластах / [авт.-упоряд. А.А. Орлов и др.]. – Л.: ВНИМИ, 1985. – Ч.1. – 235 с.
29. Прогрессивные паспорта крепления, охраны и поддержания подготовительных выработок при бесцеликовой технологии отработки угольных пластов. – Л.: ВНИМИ, 1984. – 147 с.
30. Ильштейн А.М. Закономерности проявлений горного давления / А.М. Ильштейн. – М.: Углетехиздат, 1958. – 169 с.
31. Козин А.М. Эквивалентные материалы для моделирования слабых пород / А.М. Козин. – М.: Углетехиздат, 1958. – 19 с.
32. 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.
33. Козин А.М. Методическое руководство по подбору и испытанию эквивалентных материалов для моделирования / А.М. Козин, Е.П. Рутковская. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1974. – 40 с.
34. Свойства горных пород и методы их определения / [Е.И. Ильницкая, Р.И. Тедер, Е.С. Ватолин, М.Ф. Кунтыш]. – М.: Недра, 1969. – 392 с.

35. Насонов И.Д. Моделирование физических процессов в горном деле / И.Д. Насонов, В.И. Ресин. – М.: Изд. Академии горных наук, 1999. – 343 с.
36. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1975. – 333 с.
37. Белаенко Ф.А. Итоги экспериментальных работ по управлению кровлей в Донбассе, Подмосковном бассейне и Челябинском районе / Ф.А. Белаенко // Труды совещания по управлению горным давлением. – М.: Изд-во АН СССР. – 1938. – С. 137-174.
38. Кегель К. Механика сыпучих и твердых тел применительно к горным работам / К. Кегель // Международная конференция по горному давлению. – М.: Углетехиздат. – 1957. – С. 89-111.
39. Борисов А.А. Расчеты горного давления в лавах пологих пластов / Борисов А.А. – М.: Недра, 1964. – 278 с.
40. Naack W. Die Erforschung des gebirgsdruckes / W. Naack // Glückauf. – 1928. – № 22. – P. 18-22.
41. Шпрут Ф. Распределение горного давления вокруг очистного забоя / Ф. Шпрут // Международная конференция по горному давлению. – М.: Углетехиздат. – 1957. – С. 9-23.
42. Gillitzer G. Das wessen des Gebirgsdruckes und dessen Ausnützung beim Abbaubetriebe des Mausfelder Bergbau / G. Gillitzer // Glückauf. – 1928. – № 64. – P. 68-77.
43. Кузнецов Г.Н. Взаимодействие боковых пород и крепи в очистных выработках пологопадающих пластов каменного угля / Г.Н. Кузнецов // Исследования по вопросам маркшейдерского дела. – М.: Углетехиздат. – 1953. – Вып. 27. – С. 28-36.
44. Кузнецов Г.Н. О механизме взаимодействия боковых пород и крепи в очистных выработках пологопадающих угольных пластов / Г.Н. Кузнецов // Исследования горного давления применительно к механизированным крепям. – М.: Углетехиздат. – 1954. – С. 31-38.
45. Ван-Итерсон Ф.К.Т. Давление кровли на угольный пласт впереди забоя при разработке лавами по простиранию / Ф.К.Т. Ван-Итерсон // Вопросы теории горного давления. – М.: Госгортехиздат. – 1961. – С. 182-199.
46. Лабасс А. Давление и движение пород / А. Лабасс // Международная конференция по горному давлению. – М.: Госгортехиздат. – 1961. – С. 59-164.
47. Цимбаревич П.М. Рудничное крепление / Цимбаревич П.М. – М.: Углетехиздат, 1951. – 608с.
48. Weber H. Gebirgsbruck als die Ursache des Auftretens von Schlagwettern, Bläsern, Gasausbrüchen und Gebirgsschlägen / H. Weber // Glückauf. – 1916. – P. 1025.
49. Niemczyk M. The Science of Destruction in Mines / M. Niemczyk, H. Weber // Glückauf. – Essen. – 1929. – № 65. – P. 731-735.

50. Шпаккелер Г. Методы исследования горного давления / Г. Шпаккелер // Международная конференция по горному давлению. – М.: Углетехиздат. – 1957. – С. 242-256.
51. Руппенейт К.В. Давление и смещение горных пород в лавах пологопадающих пластов / Руппенейт К.В. – М.: Углетехиздат, 1957. – 228 с.
52. Комиссаров С.Н. Управление массивом горных пород вокруг очистных выработок / Комиссаров С.Н. – М.: Недра, 1983. – 237 с.
53. Жданкин Н.А. Геомеханика горных выработок / Н.А. Жданкин, А.А. Жданкин. – Новосибирск.: Наука, Сиб. отделение, 1990. – 112 с.
54. 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.
55. Бенерджи П. Методы граничных элементов в прикладных науках / П. Бенерджи, Р. Батеерфилд [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1984. – 494 с.
56. 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.
57. 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, 1981. – С. 70-72.
58. Петухов И.М. Напряженное состояние массива горных пород около очистных выработок произвольной формы в плане / И.М. Петухов, В.В. Зубков, И.А. Зубкова // ФТПРПИ. – 1982. – № 5. – С. 3-8.
59. Новикова Л.В. Оценка влияния забоя выработки на напряженно-деформированное состояние крепи соседних выработок и окружающих пород / Л.В. Новикова, Н.П. Уланова, Абдулах Касем // Науковий вісник НГА України. – 1998. – №1. – С. 29-31.
60. 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.
61. Розин Л.А. Расчет гидротехнических сооружений на ЭЦВМ. Метод конечных элементов / Л.А. Розин. – Л.: Энергия, 1971. – 214 с.
62. Розин Л.А. Метод конечных элементов в приложении к упругим системам / Л.А. Розин. – М.: Стройиздат, 1977. – 129 с.
63. 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.
64. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1979. – 392с.
65. Стренг Г. Теория метода конечных элементов / Г. Стренг, Дж. Фикс [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1977. – 350 с.
66. Деклу Ж. Метод конечных элементов / Ж. Деклу [пер. с фран.]. – М.: Мир, 1976. – 96 с.

67. Амусин Б.З. Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики / Б.З. Амусин, А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1975. – 144 с.
68. 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.
69. Ержанов Ж.С. Метод конечных элементов в задачах механики горных пород / Ж.С. Ержанов, Т.Д. Каримбаев. – Алма-Ата.: Наука, 1975. – 238 с.
70. Амусин Б.З. Применение метода конечных элементов к задачам горной геомеханики / Б.З. Амусин, А.П. Троицкий, А.Б. Фадеев // Тезисы докладов к конференции по применению ЭВМ в строительной механике. – М., 1972. – С. 16-20.
71. 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.
72. 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.
73. 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.
74. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики / Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. – К.: Пульсари, 2001. – 243 с.
75. 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.
76. Панишко А.И. Обоснование параметров рамно-анкерной крепи подготовительных выработок в условиях шахт ГХК "Шахтерскантрацит": дисс...кандидата техн. наук: 05.15.04 / Панишко А.И. – Днепропетровск, 2001. – 153 с.
77. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. Взрывные технологии в промышленности / Б.Н. Кутузов. М.: Изд-во МГГУ, 1994. – 239 с.
78. Рязанцев А.П. Влияние степени разрыхления пород демпферной зоны на параметры способа борьбы с пучением пород почвы / А.П. Рязанцев // Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ. – 2004. – Вип. 1/2004 (24). – С. 72-75.

Наукове видання

**Терещук Роман Миколайович**  
**Лозовський Сергій Петрович**

**СТІЙКІСТЬ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК  
З НЕСТІЙКОЮ ПІДОШВОЮ В ЗОНІ ВПЛИВУ ОЧИСНИХ РОБІТ**

Монографія

(Російською мовою)

Видано за редакцією авторів.

Підп. до друку 02.04.2014. Формат 30x42/4.  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 5,7.  
Обл.-вид. арк. 5,7. Тираж 300 пр. Зам. № .

Підготовлено до друку та видруковано  
в 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.