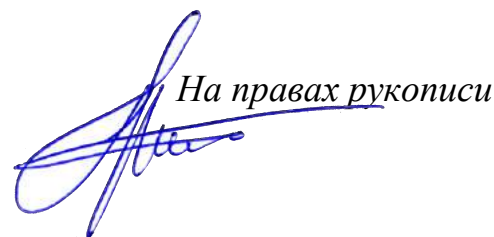


**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

*На правах рукописи*



**Касьяненко Андрей Леонидович**

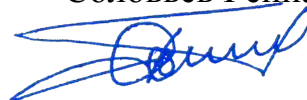
**ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ  
ПОРОД ПОЧВЫ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК  
ПРИ НАЛИЧИИ В ИХ ТЕКСТУРЕ ПРОЧНЫХ СЛОЁВ**

Специальность 25.00.22 – Геотехнология  
(подземная, открытая и строительная)

**Диссертация**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
канд. техн. наук, доцент  
Соловьёв Геннадий Иванович



Идентичность всех экземпляров  
диссертации ПОДТВЕРЖДАЮ:  
Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 01.008.01



**И. А. Бершадский**

Донецк – 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
----------------	---

## РАЗДЕЛ 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	10
1.1 Анализ состояния горных выработок и состава углевмещающих пород на шахтах Донбасса .....	10
1.2 Обзор представлений о механизмах деформирования пород почвы горных выработок .....	17
1.3 Обзор способов обеспечения устойчивости пород почвы горных выработок.....	28
1.4 Анализ методик расчета устойчивости породного массива, вмещающего горные выработки .....	34
1.5 Цель и задачи исследований .....	42

## РАЗДЕЛ 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОРОДАХ ПОЧВЫ ПРИ НАЛИЧИИ В ИХ ТЕКСТУРЕ ПРОЧНЫХ СЛОЁВ .....	44
2.1 Оценка влияния прочного слоя при наличии его в текстуре разнопрочных пород почвы на её устойчивость.....	44
2.2 Аналитические исследования .....	49
2.2.1 Методика аналитических исследований.....	49
2.2.2 Результаты аналитических исследований .....	60
2.3 Лабораторные исследования.....	73
2.3.1 Методика лабораторных исследований.....	76
2.3.2 Результаты лабораторных исследований .....	81
2.4 Шахтные исследования .....	85
2.4.1 Методика шахтных исследований.....	88
2.4.2 Результаты шахтных исследований .....	93
2.5 Выводы по разделу.....	97

## РАЗДЕЛ 3

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД ПОЧВЫ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК И ОБОСНОВАНИЕ ЕГО ПАРАМЕТРОВ.....	99
3.1 Разработка способа обеспечения устойчивости выемочных выработок на основе использования несущей способности прочного слоя пород почвы....	99
3.2 Методика и результаты аналитических исследований механизма работы системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» .....	102
3.3 Методика и результаты лабораторных исследований механизма работы системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» .....	118
3.4 Выводы по разделу.....	129

## РАЗДЕЛ 4

ШАХТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СПОСОБА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД ПОЧВЫ .....	131
4.1 Методика проведения шахтных испытаний.....	131
4.2 Результаты шахтных испытаний .....	136
4.3 Выводы по разделу.....	145
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	147
ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	149
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	150
ПРИЛОЖЕНИЯ: .....	169
А. Анализ состава углевмещающих пород Донецко-Макеевского района Донбасса.....	170
Б. Блок-схема алгоритма выбора «прочного слоя» в текстуре пород почвы.....	173
В. Результаты аналитических исследований в MathCAD.....	174
Г. Результаты аналитических исследований в SolidWorks Simulation .....	179
Д. Результаты лабораторных исследований.....	184
Е. Разрешение МакНИИ на применение лазерного дальномера и цифрового фотоаппарата .....	188

Ж. Геологические данные вмещающих пород пласта $m_3$ ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова» ГП «ДУЭК» .....	190
И. Результаты шахтных исследований на участке конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта $m_3$ ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова» ГП «ДУЭК».....	192
К. Результаты аналитических исследований влияния системы «прочный слой – крепь усиления» в MathCAD .....	194
Л. Результаты аналитических исследований воздействия системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» в SolidWorks Simulation .....	202
М. Результаты лабораторных исследований воздействия системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи».....	209
Н. Методика проведения инструментальных наблюдений за проявлениями горного давления в условиях шахты им. Е.Т. Абакумова ГП «ДУЭК» .....	212
П. Результаты шахтных исследований на экспериментальных участках конвей- ерного штрека 8-й западной лавы пласта $m_3$ ОП «Шахта им. Е. Т. Абакумова» ГП «ДУЭК» с применением мероприятий шахтного и предлагаемого способа обеспечения устойчивости пород почвы .....	218
Р. Акт и протокол шахтных испытаний способа обеспечения устойчивости пород почвы в условиях ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова» ГП «ДУЭК» .....	222
С. Расчет экономической эффективности и акт внедрения научно-технического мероприятия в условиях ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова» ГП «ДУЭК» .....	232

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Опыт отработки угольных пластов Донецко-Макеевского района Донбасса показывает, что из-за деформирования пород почвы около 65% выемочных выработок находятся в неудовлетворительном состоянии и до 43% затрат по ремонту выработок приходится на их поддирку.

Анализ отечественных и зарубежных исследований по обеспечению устойчивости выемочных выработок показал, что вопросу влияния текстуры пород на процесс деформирования почвы выработок уделялось недостаточное внимание. При наличии в текстуре пород почвы прочного слоя его разрушение происходит в результате развития породной складки с образованием крупных породных блоков, для уборки которых при поддирке почвы необходимо применять буровзрывные работы, что повышает энергозатраты на разрушение пород и снижает темпы работ более чем в 5 раз.

Таким образом, изучение процесса деформирования пород почвы при наличии в их текстуре прочных слоёв и разработка способа обеспечения их устойчивости на основе использования несущей способности этих слоёв является актуальной научно-технической задачей.

Одним из основных научных направлений кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» ДонНТУ является разработка и совершенствование способов охраны горных выработок, обеспечивающих их устойчивое состояние. Диссертация является частью этих исследований и выполнена в рамках госбюджетной научно-исследовательской темы: Д-4-11 «Развитие теоретических основ управления геомеханическим состоянием дискретного породного массива для обеспечения устойчивости подготовительных выработок глубоких шахт», 2011-2012 гг. (№0111U002118), в которой автор являлся исполнителем.

**Степень разработанности темы исследования.** Значительный объём теоретических и экспериментальных исследований таких зарубежных и отечественных ученых, как J. Aldorf, H. Brady, I. Farmer, O. Jacobi, В.И. Белов,

С.Н. Гапеев, В.Т. Глушко, А.В. Гурдус, В.М. Городничев, Ю.З. Заславский, М.П. Зборщик, Н.Н. Касьян, М.А. Комиссаров, К.В. Кошелев, Г.Г. Литвинский, С.П. Лозовский, В.А. Лыткин, А.П. Максимов, В.Н. Мокриенко, С.Г. Негрей, Ю.А. Петренко, А.Н. Роевко, К.В. Руппенейт, А.П. Рязанцев, В.И. Сивохин, В.Д. Слесарев, С.Д. Сонин, М.В. Сыроватко, Э.В. Фесенко, П.М. Цимбаревич, И.Л. Черняк, А.Н. Шашенко, М.Н. Шейхет, Г.П. Шестаков, И.П. Шмыков и др., позволил уточнить процесс деформирования пород почвы и разработать ряд способов, позволяющих обеспечить их устойчивость. Однако в исследованиях вышеперечисленных авторов массив пород почвы рассматривался как однородный и изотропный. Вместе с тем при наличии прочных слоёв в текстуре пород почвы меняется характер их деформирования.

Поэтому возникает необходимость рассмотрения особенностей процесса деформирования пород почвы при наличии в их текстуре прочных слоёв и его влияния на устойчивость выработок.

**Цель работы** заключается в обеспечении устойчивости пород почвы выемочных выработок при наличии в их текстуре прочных слоёв.

**Идея работы** заключается в использовании несущей способности прочного слоя пород, находящегося в почве выемочной выработки для обеспечения её устойчивости.

#### **Основные задачи исследований:**

1. Выполнить анализ состояния горных выработок и состава углевмещающих пород на шахтах Донбасса, обзор представлений о механизмах деформирования пород почвы и способов обеспечения её устойчивости, анализ существующих методик расчета устойчивости породного массива, вмещающего горные выработки.

2. Разработать методику оценки влияния прочного слоя при наличии его в текстуре разнопрочных пород почвы на её устойчивость.

3. Установить особенности и закономерности процесса деформирования разнопрочных пород почвы выемочных выработок при наличии в их текстуре прочных слоёв.

4. Разработать способ обеспечения устойчивости пород почвы выемочных выработок и обосновать его рациональные параметры.

5. Провести шахтные испытания способа обеспечения устойчивости пород почвы выемочных выработок.

**Объектом исследований** является процесс деформирования почвы выемочных выработок при наличии в их текстуре прочного слоя.

**Предметом исследований** является способ обеспечения устойчивости пород почвы выемочных выработок при наличии в их текстуре прочного слоя.

**Научная новизна полученных результатов:**

1. Впервые в качестве критерия «прочного слоя» в породах почвы, участвующих в процессе складкообразования, предложено использовать коэффициент разнопрочности, показывающий соотношение между параметрами (толщиной и прочностью) данного слоя и параметрами остальных слоёв.

2. Впервые установлено, что устойчивость пород почвы, подверженных складкообразованию, при наличии в их текстуре прочного слоя зависит от его толщины, прочности и глубины расположения от почвы выработки.

3. Впервые установлены особенности процесса деформирования пород почвы в выемочной выработке при наличии в их текстуре прочного слоя, заключающиеся в поэтапном развитии деформаций. На первом этапе происходит расслоение слоя пород, расположенного над прочным слоем; на втором этапе прочный слой под воздействием жесткого охранного сооружения со стороны выработанного пространства изгибается, вызывая интенсивное выдавливание в выработку выше расположенных пород; на третьем этапе происходит разлом прочного слоя.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в установлении особенностей и закономерностей деформирования пород почвы выемочных выработок, при наличии в их текстуре прочного слоя. Учет этих особенностей позволил разработать технологически простой и малозатратный способ обеспечения устойчивости пород почвы выемочных выработок.

**Методы исследований.** В работе использован комплексный подход с применением аналитических, лабораторных и шахтных методов исследований.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Снижение материальных и трудовых затрат на поддержку пород почвы, подверженных складкообразованию, в выемочной выработке шириной  $B$  при наличии в её составе прочного слоя толщиной  $(0,1 \div 0,3)B$  и прочностью более 60 МПа, удалённого от почвы выработки на расстояние не более  $0,2B$ , обеспечивается путём внешнего воздействия на прочный слой, позволяющего сохранить его устойчивость.

2. Создание системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» при установке под каждую раму основной крепи на участке не менее 20 м вслед за лавой крепи усиления, контактирующей непосредственно с прочным слоем, позволяет в два раза и более уменьшить смещение почвы в выработку.

**Реализация работы:**

– разработан способ поддержания выемочных выработок (Пат. 99028 Украина) и способ обеспечения устойчивости пород почвы при наличии в их текстуре прочных слоёв (Пат. 103110 Украина);

– результаты работы прошли шахтные испытания в условиях конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта  $m_3$  ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова» ГП «ДУЭК», что позволило уменьшить смещения пород почвы в 2 раза. Экономический эффект за счет внедрения предложенных рекомендаций составил 3299,40 грн./м (в ценах 2011 года).

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается достаточным объемом данных шахтных и лабораторных исследований, корректностью поставленных задач, использованием методов конечных элементов и теории упругости, обработкой результатов исследований методами математической статистики, адекватностью разработанных математических и физических моделей, положительными результатами внедрения разработанных рекомендаций в шахтных условиях. Достоверность работы подтверждается апробацией и публикацией исследований в материалах конференций и рецензированных научных изданиях.



**Апробация результатов работы.** Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях: «Инновационные перспективы Донбасса» (ДНР, Донецк, 2015-2016 гг.), «Опыт прошлого – взгляд в будущее» (Россия, Тула, 2013 г.), «Донбасс-2020: перспективы развития глазами молодых ученых» (Украина, Донецк, 2012 г.), «State And Trends Of Civil Engineering GTZ 2012 and 2nd Conference GEO-EXPO 2012» (Босния и Герцеговина, Тузла, 2012 г.), «iNDiS 2012: Planning, design, construction and renewal in the civil engineering» (Сербия, Нови-Сад, 2012 г.), «Проблемы горного дела и экологии горного производства» (Украина, Антрацит, 2012 г.), «Современные проблемы экологии и геотехнологий» (Украина, Житомир, 2011 г.), «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» (Россия, Тула, 2011 г.), «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений» (Украина, Донецк, 2010-2012 гг.), «Geotechnika-Geotechnics», «Szkola geomechaniki» (Польша, Гливице-Устронь, 2010-2011 гг.), «Перспективы освоения подземного пространства» (Украина, Днепрпетровск, 2010 г.).

Основные результаты работы докладывались на технических советах ГП «ДУЭК» и ОП «Шахта им. Е. Т. Абакумова».

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы изложены в 20 научных трудах: 5 статей опубликованы в специализированных научных изданиях, 2 патента на полезную модель и 2 патента на изобретение, 11 статей опубликовано в сборниках конференций.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа изложена на 148 страницах машинописного текста, включает 62 рисунка и 17 таблиц. Состоит из введения, четырех разделов и заключения, списка литературы из 176 наименований на 19 страницах и 15 приложений на 68 страницах. Общий объем работы составляет 237 страниц. Объем основного текста диссертации составляет 5,4 авторских листа.

Автор искренне благодарен доктору технических наук Касьяну Н. Н. за ценные советы в процессе выполнения диссертации.

## РАЗДЕЛ 1

## СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

**1.1 Анализ состояния горных выработок и состава углевмещающих пород на шахтах Донбасса**

Уголь является наиболее распространенным в мире энергоносителем. Его мировые запасы составляют примерно 1 трлн. т и на порядок превосходят запасы нефти. Около 80% мировых разведанных запасов каменного угля находится на территориях: США – 26,6%, РФ – 17,6%, КНР – 12,8%, Австралии – 8,6%, Индии – 6,8%, Германии – 4,5% и Донбасса – 3,8% [1]. В настоящее время уголь является единственным энергетическим ресурсом, которым республика располагает в объемах (до глубины 1500 м залежи угля в Донбассе оцениваются 117,3 млрд. т.), достаточных не только для покрытия собственных потребностей, но и для продажи на мировых рынках, что определяет его стратегическую роль в развитии не только энергетики, но и экономики страны в целом [2].

Донецко-Макеевский регион – один из ведущих поставщиков углей в республике. Балансовые запасы углей в районе составляют 4,9 млрд. т, прогнозные на еще не разведанных площадях – 1,2 млрд. т [3].

Эксплуатационное состояние выемочных выработок по Донецко-Макеевскому региону из года в год постоянно ухудшается. Согласно данным представленных в таблице 1.1 за 5 лет, начиная с 2010 года, около 22% выемочных выработок, от их общей протяженности, требуют ремонта, 55% не удовлетворяют требованиям [4] по параметрам их сечения. Основными причинами неудовлетворительного состояния выработок является потеря их устойчивости, связанная с увеличением глубины разработки и ухудшением горно-геологических условий.

Негативное влияние на устойчивость выработок оказывают очистные работы [5-9]. Около 65% горных выработок находятся в неудовлетворительном состоянии из-за деформирования пород почвы, что в большинстве случаев обусловлено отсутствием крепи по контуру почвы.

Как показывает анализ отечественных и зарубежных исследований [5-16] общие вертикальные смещения пород почвы превышают смещения кровли и достигают 2,5÷3,0 м. Основным видом ремонтных работ, связанным с устранением последствий смещений почвы горных выработок, является поддирка. Ежегодный объём поддинок пород почвы составляет порядка 10 тыс. м<sup>3</sup>, на что затрачивается свыше 5000 чел.-см в год [8].

Таблица 1.1

Эксплуатационное состояние выемочных выработок на шахтах Донецко-Макеевского региона

Год	Общая протяженность выемочных выработок, км	Протяженность выемочных выработок, не удовлетворяющих требованиям ПБ по параметрам сечения:				
		всего		в том числе, км:		
		км	%	сечение	высота	зазоры
2010	419,9	93,3	22,2	55,5	12,1	25,2
2011	379,7	87,9	22,5	54,6	11,8	21,0
2012	352,2	85,8	23,2	54,9	11,6	18,8
2013	324,8	83,7	24,0	55,2	11,4	16,6
2014	297,3	81,6	24,7	55,4	11,2	14,4

Все выше изложенное указывает на то, что на ценообразование угля оказывают большое влияние непроизводственные затраты, связанные с ремонтными работами.

Анализ ценообразования угля на шахтах ГП «ДУЭК» [17] по долях участковых затрат, представленных в виде диаграмм на рисунке 1.1, показывает, что объём непроизводственных затрат, связанных с ремонтами достигает 80% (см. рис. 1.1а), из которых 70% затрат приходится на ремонт выработок (см. рис. 1.1б). В свою очередь, 90% затрат на ремонт выработок приходится на выработки, испытывающие вредное влияние очистных работ (см. рис. 1.1в), при этом на ликвидацию последствий выдавливания пород почвы в полость выработки приходится 86% общих затрат (см. рис. 1.1г). Таким образом, общая доля участковых затрат, связанных с поддиркой пород почвы в зоне влияния очистных работ составляет 43,3% (см. рис. 1.1д).

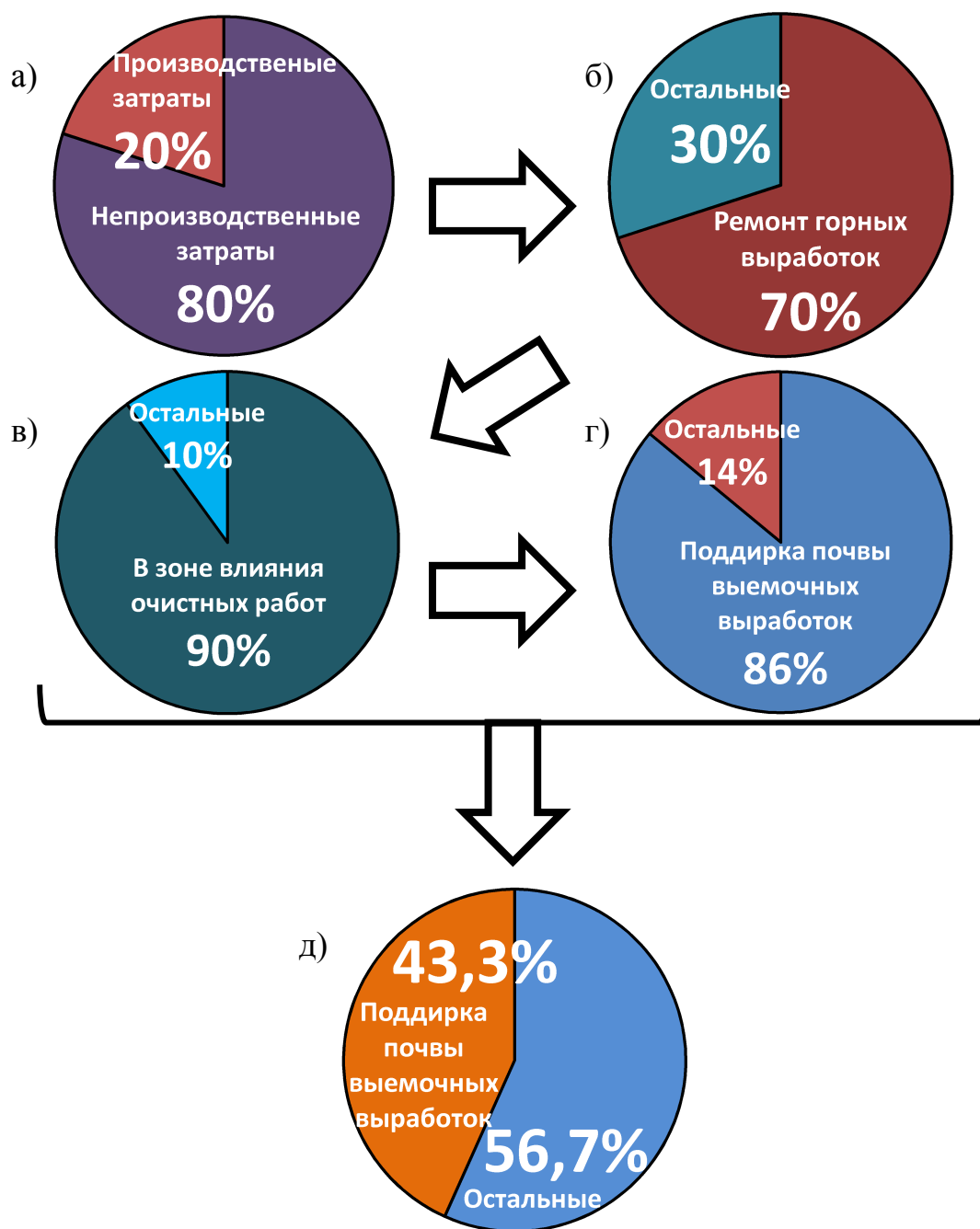


Рис. 1.1. Ценообразование угля на шахтах ГП «ДУЭК» по долям участковых затрат: а – производственные и непроизводственные затраты; б – непроизводственные затраты, связанные с ремонтом горных выработок; в – затраты на ремонт горных выработок в зоне влияния очистных работ; г – затраты на ремонт в выемочных выработок, связанных с поддержкой почвы; д – участковые затраты на поддержку почвы выемочных выработок

Выемочные выработки поддерживаются в зонах динамического опорного давления впереди лавы и активных сдвижений позади неё, что вызывает перераспределение НДС горных пород, что приводит к интенсивным смещениям пород и потере их устойчивости [18]. Наибольшее распространение на шахтах Донецко-Макеевского региона получила сплошная система разработки – 55% [19], т.к. она позволяет при относительно небольших начальных капитальных затратах обеспечить быстрый ввод лав в эксплуатацию. Поэтому особенно актуальна задача сохранения устойчивости выемочных выработок позади действующей лавы, где происходят наиболее интенсивные деформации и смещения боковых пород.

Известно [8,20], что в условиях глубоких шахт смещение боковых пород на контуре выработок является следствием образования вокруг последних ЗРП. При этом в почве выработок на глубине, равной половине её ширины, разрушение пород происходит в форме складкообразования. При формировании складки соотношение между величиной смещения породных слоев в плоскости напластования к величине их поднятия в полость выработки составляет от 1:6 до 1:4. Такой характер смещения контура почвы выработки обусловлен наличием слабых породных слоёв в её текстуре.

При наличии в текстуре пород почвы прочного слоя незначительной толщины меняется характер деформирования почвы выработки [21,22]. В таких условиях производить механизированную поддирку затруднительно, а зачастую и невозможно. При этом пороговая прочность пород для механизированной поддирки составляет  $\sigma_{сж} > 60$  МПа. Выше этого предела породы разрушаются БВР, что требует применения бурильного оборудования, отбойных молотков, ВВ, соблюдения режима БВР и т.п., поэтому темпы поддирки снижаются более чем в 5 раз, а энергозатраты на разрушение растут [23].

Поэтому для определения наличия прочных слоёв в почве разрабатываемых пластов был выполнен анализ состава и характеристик углевмещающих пород Донецко-Макеевского района Донбасса. Для этого использовались сведения об угленосных свитах среднего карбона из специализированных источников [24,25] и планов горных выработок угольных шахт. Данные анализа обработки приведены в Приложении А.

Из данных таблицы А.1 Приложения А видно, что в Донецко-Макеевском районе Донбасса вмещающие породы угольных пластов, разрабатываемых на глубине свыше 1000 м, имеют следующий состав: аргиллиты и алевролиты – 69,3%, песчаники – 27,7%, известняки – 1,8% случаев соответственно. Таким образом, на основании средних значений прочности пород почвы, приведенных в табл. А.2, механизированную поддирку можно производить, преимущественно, в алевролитах или аргиллитах с  $\sigma_{сж}^{ср} < 60$  МПа, а поддирку при помощи БВР – в песчаниках или известняках с  $\sigma_{сж}^{ср} > 60$  МПа.

На следующем этапе был выполнен анализ состава, толщины, прочности и частоты встречаемости залегания первого, второго и третьего слоёв в текстуре пород почвы угольных пластов на расстоянии до 5 м.

В таблице А.3 Приложения А представлены результаты обработки исходной информации о первом слое в текстуре пород почвы угольных пластов Донецко-Макеевского района Донбасса. Как видно из табл. А.3, в текстуре пород почвы первым слоем в 73% случаев представлены алевролиты и их мощность варьируется от 0,6 до 36 м (средняя мощность составляет 5,2 м); аргиллит встречается в текстуре пород почвы первым слоем в 9,3% случаев, его мощность варьируется от 0,7 до 11 м (средняя мощность составляет 2,2 м). В остальных 17,7% случаях первым слоем в текстуре пород почвы встречаются песчаники и известняки. Таким образом в 82,3% случаев в текстуре пород почвы первым слоем залегают аргиллиты или алевролиты, что дает возможность применения механизированной поддирки в случае их выдавливания в полость выработки.

На рисунке А.1 Приложения А представлена гистограмма распределения алевролитов и аргиллитов по интервалам толщины слоя, залегающих в качестве первого слабого слоя в текстуре пород почвы.

Из рисунка А.1а видно, что для аргиллитов толщина первого слоя в 5% случаев составляет 0,7÷1,0 м, толщина 1,0÷1,5 м встречается в 7% случаев, толщина 1,5÷2,0 м в 6%, толщина 2,0÷2,5 м в 5%, а в остальных 77% случаев толщина превышает 2,5 м.

Из рисунка А.1б видно, что толщина алевролита в 7% случаев составляет  $0,6 \div 1,0$  м, толщина  $1,0 \div 1,5$  м – 15% случаев, толщина  $1,5 \div 2,0$  м – 13%, толщина  $2,0 \div 2,5$  м – 15%, в остальных 50% случаев толщина превышает 2,5 м. Таким образом, в текстуре пород почвы толщина первого слоя не превышает 2,5 м в 23% случаев для аргиллитов и в 50% случаев для алевролитов.

В таблице А.4 Приложения А представлены результаты показателей толщины второго слоя, залегающего непосредственно под первым слоем в текстуре пород почвы угольных пластов. Из данных таблицы А.4 видно, что в 32% случаев второй слой в текстуре пород почвы представлен песчаниками (30%) и известняками (2%). При этом толщина песчаника изменяется от 0,75 до 50,2 м, известняка – от 0,25 до 5,6 м.

По аналогии, как и для первого слоя пород, на рисунке А.2 Приложения А приведены гистограммы распределения частоты залегания вторым слоем прочных пород песчаника и известняка. Из рисунка А.2а видно, что толщина слоя песчаника в 10% случаев составляет  $0,75 \div 1,0$  м, для толщины  $1,0 \div 1,5$  м – 5% случаев, для толщины  $1,5 \div 2,0$  м – 6%, для толщины  $2,0 \div 2,5$  м – 9%, для остальных 70% случаев – толщина свыше 2,5 м.

Как видно из рисунка А.2б, в 11% случаев толщина слоя известняка составляет  $0,25 \div 1,0$  м, для толщины  $1,0 \div 1,5$  м – 8% случаев, для толщины  $1,5 \div 2,0$  м – 10%, для толщины  $2,0 \div 2,5$  м – 33%, в остальных 38% толщина превышает 2,5 м.

Таким образом, толщина второго прочного слоя, залегающего под первым слабым слоем в текстуре пород почвы, не превышает 2,5 м в 30% случаев для песчаников и 62% случаев для известняков.

Третьим слоем почти в 80% случаев залегают также алевролиты или аргиллиты [24,25]. В остальных 20% случаев в текстуре пород почвы угольных пластов залегают песчанистые сланцы или песчаники.

В таблице А.5 Приложения А представлены итоговые данные выполненного анализа частоты встречаемости залегания слоёв в текстуре пород почвы, в которой первый слой представлен слабыми породами, а второй – прочными. В 82,3% случаев первый слабый слой представлен аргиллитом ( $\sigma_{сж}^{ср} \approx 40$  МПа) или алевролитом ( $\sigma_{сж}^{ср} \approx 60$  МПа); в 32% случаев вторым прочным слоем залегают породы

песчаника ( $\sigma_{сж}^{ср} \approx 80$  МПа) или известняка ( $\sigma_{сж}^{ср} \approx 120$  МПа); третий слой в 80% случаев представлен слабыми породами – аргиллитами или алевролитами. Суммарная толщина первых двух разнопрочных слоёв в текстуре пород почвы в 26,3% случаев не превышает 2,5 м, что показано на рисунке 1.2.

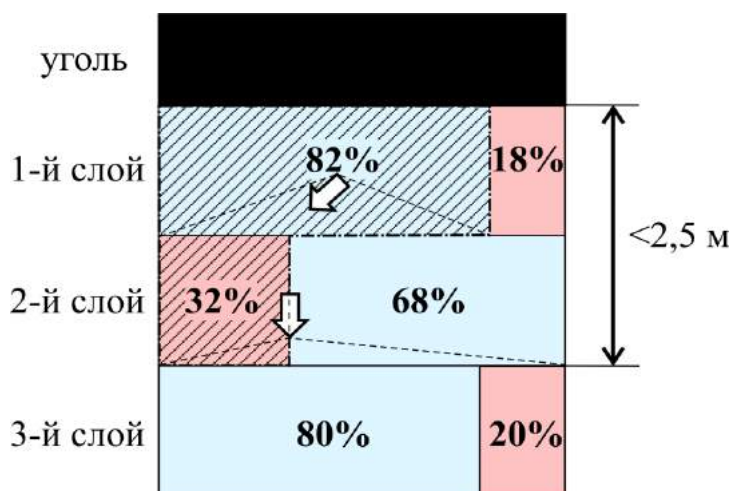


Рис. 1.2. Распределение по частоте встречаемости залегания слабых и прочных слоёв в текстуре пород почвы угольных пластов Донецко-Макеевского района Донбасса, где:  – слои слабых пород;  – слои прочных пород;  – 26,3% область чередования слабых и прочных слоёв

Следовательно, в 26,3% случаев в непосредственной близости от почвы угольного пласта встречается прочный слой. При наличии в текстуре пород почвы прочного слоя его разрушение происходит в результате развития породной складки с образованием крупных породных блоков [15,16,18,26,27], для уборки которых из-за невозможности проведения механизированной поддирки необходимо применять БВР, темпы её снижаются, а энергозатраты на разрушение пород растут, существенно увеличивая тем самым материальные и трудовые затраты.

Таким образом, в зависимости от сочетания и характеристик слоёв в текстуре пород почвы механизм её деформирования будет существенно отличаться. Поэтому проведем обзор известных представлений о механизмах деформирования пород почвы горных выработок.



## **1.2 Обзор представлений о механизмах деформирования пород почвы горных выработок**

Вопрос деформирования пород почвы горных выработок изучался давно. К настоящему времени проведен значительный объем теоретических и экспериментальных исследований процесса деформирования пород почвы горных выработок. Значительный вклад в исследования данной проблемы внесли зарубежные и отечественные ученые, такие как J. Aldorf, H. Brady, I. Farmer, O. Jacobi, В.И. Белов, С.Н. Гапеев, В.Т. Глушко, А.В. Гурдус, В.М. Городничев, Ю.З. Заславский, М.П. Зборщик, Н.Н. Касьян, М.А. Комиссаров, К.В. Кошелев, Г.Г. Литвинский, С.П. Лозовский, В.А. Лыткин, А.П. Максимов, В.Н. Мокриенко, С.Г. Негрей, Ю.А. Петренко, А.Н. Роенко, К.В. Руппенейт, А.П. Рязанцев, В.И. Сивохин, В.Д. Слесарев, С.Д. Сонин, М.В. Сыроватко, Э.В. Фесенко, П.М. Цимбаревич, И.Л. Черняк, А.Н. Шашенко, М.Н. Шейхет, Г.П. Шестаков, И.П. Шмыков и др.

Однако авторы большинства работ идеализировали задачу, рассматривая породы почвы как однородную и изотропную монолитную среду (пластическую, упругую, вязкую), используя в расчетах адаптированные схемы. При этом выше перечисленные авторы в своих исследованиях не рассматривали особенности процесса деформирования пород почвы при наличии в их текстуре прочных слоёв и влиянии их на устойчивость выработок.

Большинство проанализированных работ можно сгруппировать по трём характерным признакам идеализации, объясняющих процесс деформирования пород почвы в горных выработках:

- 1) увеличение объема пород почвы в ЗНД с последующим поглощением ими влаги;
- 2) выдавливание пород почвы из-под штампа под влиянием опорного давления в боках выработки и вязким течением пород в результате неравновесного состояния массива в почве выработки;

3) продольно-поперечный изгиб слоёв с образованием ЗНД и потеря упруго-пластической устойчивости пород в ЗНД.

И отдельно выделим ряд авторов, которые рассматривали всю сложность и многообразие этого явления в рамках единой теории, объясняющей в целом процесс деформирования пород почвы горных выработок.

**К первой группе** отнесем работы [28-42], объясняющие процесс деформирования пород почвы увеличением их объема с поглощением влаги.

В.И. Белов [28], А.В. Гурдус [29], М.В. Сыроватко [30], А.И. Целигоров [31], Н.М. Покровский [32] и др. [33-38] рассматривали процесс деформирования пород почвы с учетом их минералогических и химических особенностей, как наиболее распространенный вид деформаций склонных к выдавливанию пластичных пород, в основном глиносодержащих. Под действием повышенного горного давления эти породы, особенно при наличии влаги, увеличиваются в объеме и в результате пластических деформаций после потери равновесного состояния выдавливаются в полость выработки.

В.М. Городничев [39], А. Лабасс [40], Д.С. Ростовцев [41], С.С. Давыдов [42] объясняли увеличение объема пород почвы их разрушением и разуплотнением в ЗНД. Они отмечали, что вокруг горных выработок деформирование пород почвы происходит из-за возникающей зоны разрушения с образованием микро- и макротрещин, вызванных в результате таких факторов, как накопление потенциальной энергии [41], повышение вертикального давления в боках выработки [42], переход пород в пластичное состояние [39], действие напряжений превышающих предел прочности пород [40]. В конечном счете по сути основная причина деформирования пород почвы сводится к повышенным напряжениям значительно превосходящим предел прочности горных пород на контуре горных выработок. В результате этого происходит разуплотнение пород с последующим их разрушением и выдавливанием в полость выработки.

Общим недостатком работ первой группы, является то, что их авторы рассматривали массив как идеальную упругую или пластическую среду и не учитывали его слоистость и существенную неоднородность свойств. Среда почвы

идеализировалась слабыми породами, преимущественно глинодержащими, склонных к набуханию под действием влаги.

Ко второй группе относятся работы П. М. Цимбаревича [43], В. Д. Слесарева [44] и др. [45-47], в которых процесс деформирования пород почвы рассматривался, как результат их выдавливания по аналогии выпирания сыпучего материала между двумя жесткими штампами, со следующими уточнениями: для дискретных сред [46], упругого расширения пород с учетом глубины разработки [45], бокового распора второго порядка [44]. А. П. Максимов [48], В.А. Лыткин [49] и С. Д. Сонин [50] рассматривали это выдавливание как процесс вязкопластического течения пород с потерей их равновесного состояния.

Так, например, В. А. Лыткин [49] предложил гипотезу о выдавливании материала пластичной полосы, сжимаемой между двумя плитами, показанными на рисунке 1.3, разной жесткости с учетом вязкопластического течения слабого слоя пород.

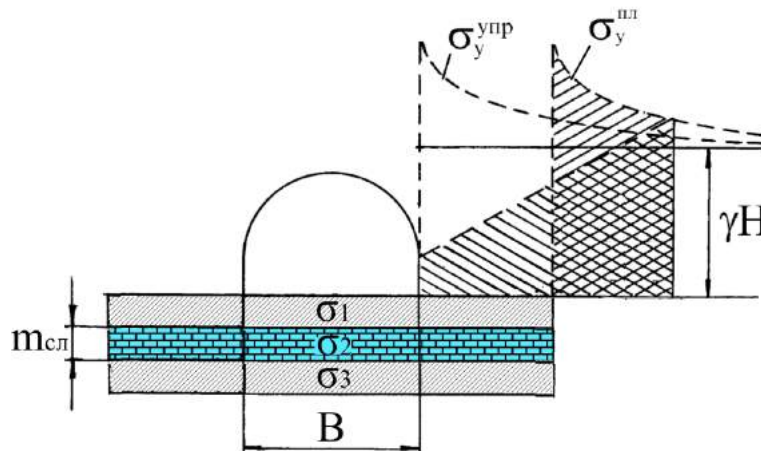


Рис. 1.3. Расчетная схема выдавливания пород почвы по В.А. Лыткину

При этом автор отмечает, что деформирование почвы происходит из-за того, что слой  $\sigma_2$  толщиной  $m_{сл}$ , должен быть зажат между значительно более жесткими слоями  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ , а выдавливание возможно лишь, в том случае, когда вмещающие слой породы имеют значительно большую жесткость, чем у слабого слоя  $\sigma_2$ .

С.Д. Сонин считал, что выдавливание пород почвы представляет собой процесс упруго-вязкого и упруго-вязкопластического течения, обусловленного напряженным состоянием массива горных пород [50].

В работах 2-й группы авторы рассматривают только породы склонные к пластическим деформациям, оставив без внимания выдавливание прочных пород. Также необходимо отметить, что в исследованиях 1-й и 2-й групп не учитывается влияние фактора времени на процесс пучения.

**К третьей группе** отнесены работы, в которых процесс выдавливания пород почвы рассматривается как результат их разрушения при образовании ЗНД.

Продольно-поперечный изгиб слоев с образованием ЗНД рассмотрен в работах М. А. Комиссарова [51], Л.А. Западинского [52], Н.Н. Касьяна [20,53,54], и др.[55-60].

Согласно гипотезе М. А. Комиссарова причиной пучения пород почвы является складкообразование пород [51], объясняемое деформациями боков выработки в условиях сжатия, в результате чего слои почвы приобретают форму сводчатого или шатрового перекрытия. Слои пород почвы, участвующие в складкообразовании, образуют равнобедренный треугольник, основание которого равно ширине выработки, а высота - половине ширины выработки  $0,5B$ . Выполненные автором расчеты показывают, что при определенных условиях возможен отрыв основания, т. е. расслоение пород, которое служит активной нагрузкой для последующего слоя пород. С удалением от контура почвы каждый более удаленный от выработки слой пород меньше прогибается и отрывается от своего основания. Таким образом происходит выдавливание слоев пород почвы в полость выработки, показанное на рисунке 1.4.

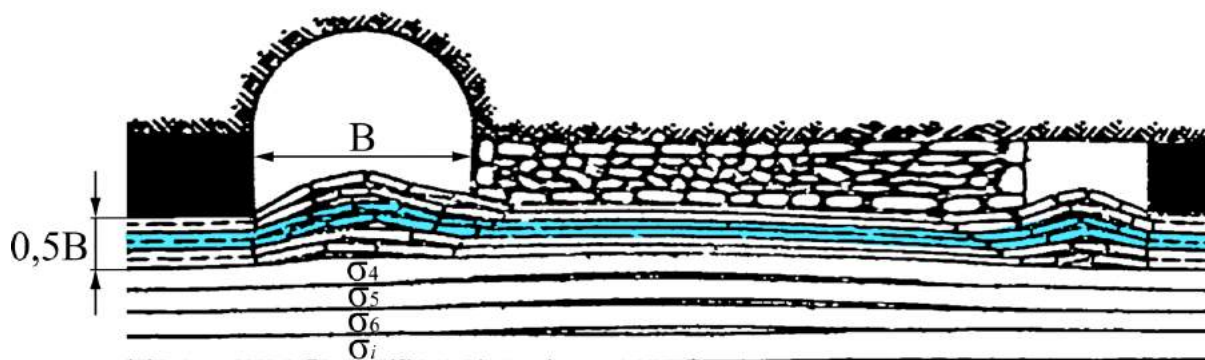


Рис. 1.4. Схема деформирования пород почвы по М. А. Комиссарову

В работе [52], породы почвы рассматриваются, как плиты, состоящие из слоёв хрупко-упругого материала средней прочности ( $\sigma_{сж}=40\div 50$  МПа), подверженные воздействию бокового давления со стороны зон опорного давления под целиками. В результате хрупкого разрушения пород происходит потеря устойчивости активного слоя, который отделяется от всей толщи непосредственной почвы, при условии, что напряжения в нем не достигли предела пластичности. Автор не исключает и пластических деформаций, которые могут возникнуть с течением времени из-за разуплотнения и увеличения объема пород вследствие влияния воды.

В работах Н.Н. Касьяна [20,53,54] деформирование пород почвы рассмотрено как процесс складкообразования и разрыхления во времени слоёв пород почвы по плоскостям напластования. Механизм деформирования, в условиях хрупкого разрушения, происходит в виде «выпириания» слоёв пород почвы при воздействии на них смещающихся в боках выработки породных блоков, ослабленных зонами разрушения. Используя положения механики хрупкого разрушения, автором [20] установлены величины смещений почвы в зависимости от радиуса ЗРП (рис. 1.5). Соотношение между величиной смещения слоёв пород в плоскости напластования к величине их поднятия в полость выработки составляет от 1:6 до 1:4, в области равной половине ширины выработки.

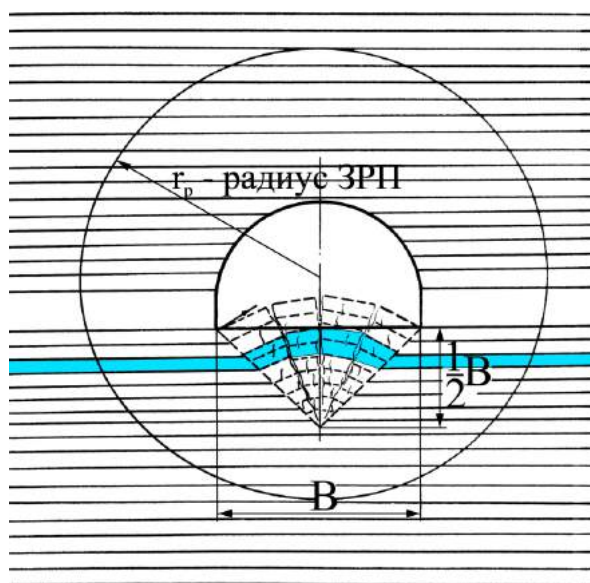


Рис. 1.5. Схема хрупкого разрушения пород почвы по Н.Н. Касьяну

В работах [55-60] выполнены исследования по дальнейшему изучению и уточнению «эффекта» складкообразования для различных горно-геологических условий. В условиях слабых пород на шахтах Донбасса деформирование почвы происходит в виде «выпираания» пород при воздействии на них смещающихся в боках выработки породных блоков, ослабленных зонами разрушения [55-58]. Сам процесс деформирования представляет собой разрушение предельно напряженных пород в боках выработки на блоки различной формы, с последующим их внедрением в подстилающие породы почвы, сопровождающийся послойным сдвигом со складкообразованием и разрушением пород почвы, и вытеснением разрушенных пород почвы в полость выработки. В условиях же слоистых пород почвы [59], происходит расслоение пород и их выдавливание под действием продольного сжатия, при этом величина смещений на порядок выше, чем для однородных пород почвы, при прочих равных условиях. Исследования на шахтах Печорского угольного бассейна, показали, что в условиях слоистых пород слабой непосредственной и прочной основной почвы, процесс деформирования происходит в виде складкообразования подстилающих выработку слоёв пород в основном за счет горизонтальной составляющей горного давления [60].

Ю. З. Заславский [61] рассматривал почву из породных слоёв, как защемленные балки с продольно-поперечной нагрузкой  $P$  на них (рис. 1.6а), которая превосходит некоторое критическое значение  $P_{кр}$ , в результате чего каждый слой подвергается продольному изгибу  $U_n$  и, при этом, деформируется с разломом по центру, что приводит к потере устойчивости пород почвы.

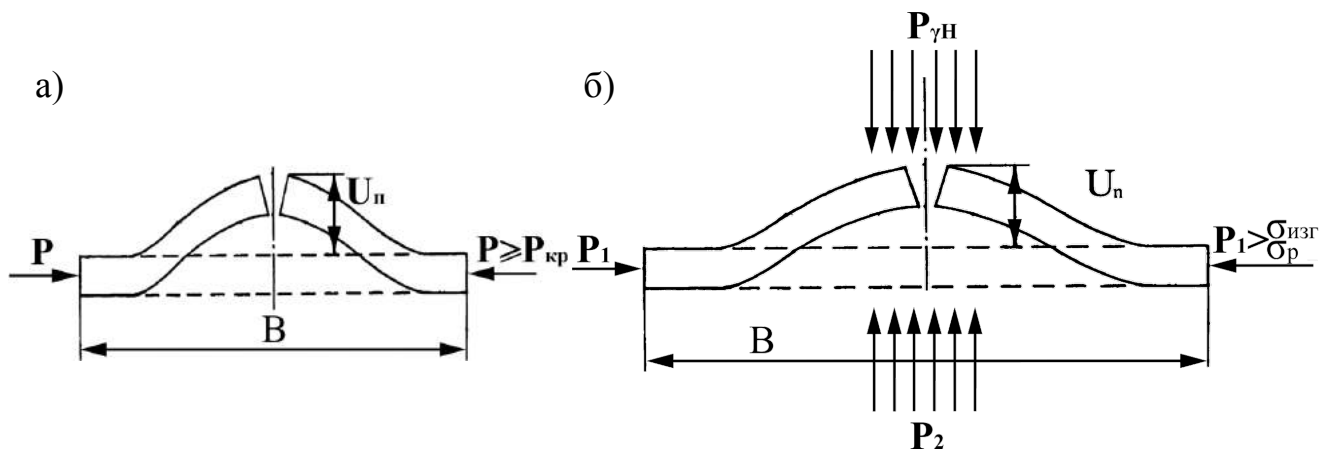


Рис. 1.6. Схемы моделей процесса деформирования пород почвы по нагрузкам:

а) продольно-поперечной; б) продольной и подпорной

В работе [62] уточняется модель процесса деформирования пород почвы, где действия продольных  $P_1$  и подпорных  $P_2$  нагрузок определяются действием гравитационной нагрузки  $P_{\gamma H}$  (см. рис. 1.6б), а потеря устойчивости пород почвы зависит от предела прочности их на изгиб  $\sigma_{изг}$  или растяжение  $\sigma_p$  и разрушение пород происходит от воздействия этих нагрузок.

В работах [63-65], авторы рассматривают явление внезапного поднятия почвы в горных выработках. Потеря устойчивости почвы объясняется деформациями пород верхнего слоя. При этом верхний слой пород почвы, рассматривается как балка в плоско-деформированном состоянии на упругом основании в виде нижележащих слоёв почвы (рис. 1.7). На балку действует горизонтальная нагрузка  $P$ , которая вызывает вертикальные смещения  $U_{п}$  почвы. Авторами разработаны рекомендации, определяющие вероятность для случаев «центрального» и «одностороннего» выдавливания пород почвы, которые зависят от слоя расположенного у поверхности почвы его основных параметров таких, как: толщина слоя –  $m_{сл}$ , ширина пролета –  $B$ , прочность пород –  $\sigma_{сж}$  (см. рис. 1.7б).

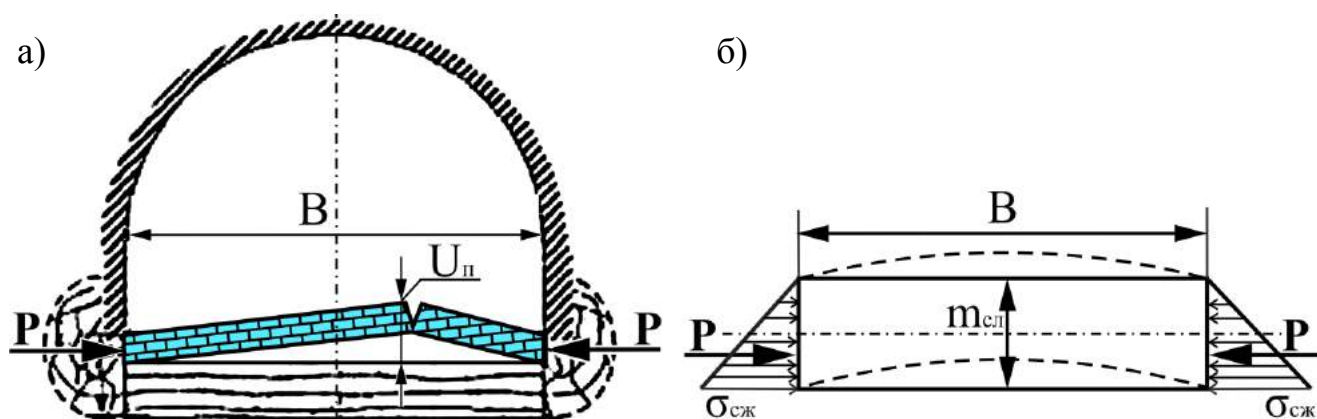


Рис. 1.7. Схема деформирования пород почвы в виде породной балки: а – процесс разрушения верхнего слоя пород почвы выработки; б – силы, действующие на балку-плиту

В работах К.В. Руппенеята [66], А. Н. Шашенко [67], А. Н. Роеико [68] и других авторов [69-72], рассматривается упруго-пластическая устойчивость пород в ЗНД.

В работе [66] автор решает упруго-пластическую задачу и определяет давление на крепь выработки со стороны массива горных пород с учетом

образующейся вокруг выработки ЗНД. По мнению автора, основная причина деформирования пород почвы заключается в переходе их в пластическое состояние.

В работах [67-72] выдавливание почвы рассматривается как результат потери упруго-пластической устойчивости пород в ЗНД за счет упруго-пластического деформирования окружающего выработку породного массива. В конечном счете, потеря упруго-пластической устойчивости приводит к возникновению зоны концентрации напряжений [67], а также ЗРП [68]. Последние, в свою очередь, определяют размеры области разрушений вокруг выработки и величину смещений породного контура (рис. 1.8) и характер нагрузки на крепь [69]. При соответствующих свойствах породного массива напряжения могут проявлять пластические [72] или хрупкие свойства [71], усугубляющиеся горно-геологическими условиями [70].

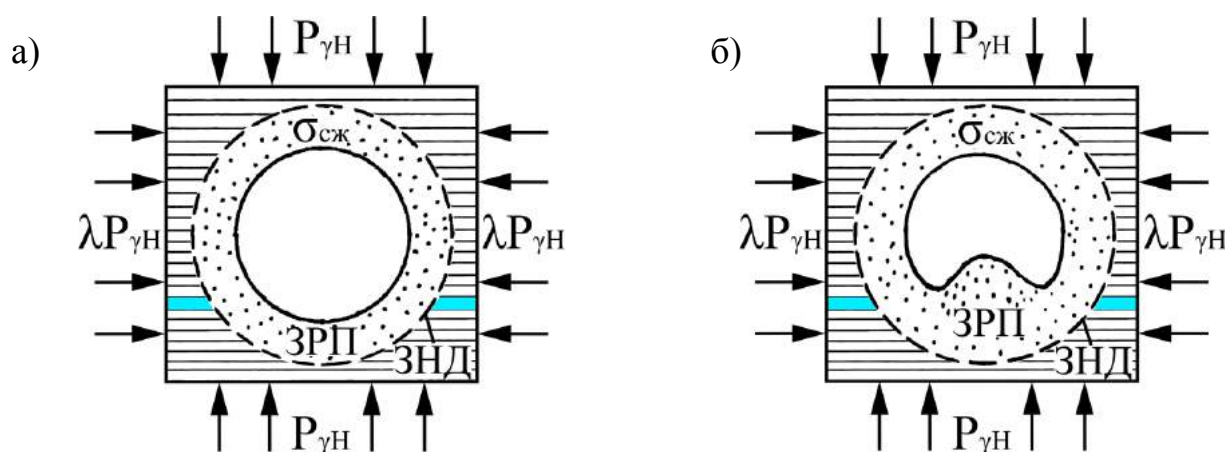


Рис. 1.8. Расчетная схема к решению задачи о потере упруго-пластической устойчивости пород: а – исходное состояние с образованием области ЗНД и ЗРП; б – процесс деформирования пород почвы в области ЗРП

Таким образом, третья группа, наиболее соответствует физической картине деформирования пород почвы, что подтверждается экспериментальными исследованиями на шахтах, но в определённых горно-геологических условиях [51-72]. Однако в перечисленных работах не было уделено внимание вопросу разнопрочности пород в рассматриваемых зонах (ЗРП и ЗНД) и влиянию прочных слоёв в текстуре пород почвы на процесс ее деформирования в горных выработках.



**Единая теория деформирования пород почвы** разрабатывалась авторами [5,14,22,29,61,73-86] с целью предложить обобщающие критерии, определяющие первопричину развития этого процесса, но к сожалению, во всех проанализированных работах из-за сложности самого процесса и многообразия влияющих на него факторов авторам не удалось описать единую картину механизма проявления этого сложного явления для всевозможных горно-геологических условий. Вместе с тем рассмотрим применяемые подходы.

А. В. Гурдус [29] в качестве главного критерия устойчивости пород рассматривал их прочность и считал, что при прочности  $\sigma_{сж}$  пород более 22 МПа они не будут деформироваться.

В. Т. Глушко выделил [73] два взаимовлияющих фактора на устойчивость пород почвы – глубину расположения выработки и пороговую прочность пород. Так, например, для глубины 450 м таким критерием автор считает породы с прочностью 24 МПа, теряющие устойчивость на этой глубине.

И. П. Шмыков в качестве критерия устойчивости пород почвы предложил комплексный показатель [74,75], зависящий от величины горного давления и толщины склонного к выдавливанию породного слоя.

По мнению А. М. Пяткина [76] основными критериями, влияющими на устойчивость пород почвы, являются толщина и физико-механические свойства пород, окружающих горную выработку, а также продолжительностью величины воздействующей на них нагрузки. Предельной глубиной, на которой прочные породы теряют свою устойчивость, он считал глубину 600-700 м.

Г.П. Шестаков считал [77], что на устойчивость пород почвы в выработках комплексно влияют множество факторов, кроме таких горно-геологических условий, как: глубина залегания пласта, физико-механические свойства пород почвы их состав и сочетание в массиве, угол падения, вынимаемая мощность пласта; также существенное влияние оказывают горно-технологические условия: способ вскрытия, система разработки, подработка и наработка пластов, длина и скорость подвигания лавы, устойчивость непосредственной и обрушаемость основной кровли, способ охраны выработки, площадь её поперечного сечения. Автор на примере шахт Донбасса отмечал, что с увеличением глубины разработки

вероятность потери устойчивости пород почвы увеличивается, так, критерием неустойчивого состояния прочных пород песчаников является глубина 500 м.

И.Л. Черняк [5,14] на основании обобщения большого количества натуральных наблюдений и результатов лабораторного моделирования на моделях из эквивалентных материалов разработал вероятностно-статистический метод прогноза устойчивости пород почвы. Основными факторами, определяющими её устойчивость, являются: глубина разработки, прочность вмещающих пород, мощность и их состав, а также площадь поперечного сечения выработок. Автор приходит к выводу, что устойчивость почвы выработки, находится во взаимосвязи с окружающими породами. Критерием же устойчивости почвы является прочность пород, которая должна быть больше, чем прочность пород в кровле и боках выработки. При этом исследуя процесс деформирования в прочных породах почвы, И. Л. Черняк выделяет три зоны деформирования пород: упруго-вязких деформаций, длительного разрушения и условно-мгновенного разрушения; со своими критериями устойчивости для каждой зоны. В результате был разработан инженерный метод прогноза устойчивости почвы [78], который определяет вероятность деформирования пород.

В работах [22,79-84] в качестве критерия устойчивости почвы, предложено рассматривать особенности строения пород (толщины и прочности слоев, состояние межслоевых контактов), а также технологические особенности проведения и поддержания выработки.

А. Н. Роевко в своих исследованиях [82-84] рассматривает два таких критерия: как потеря несущей способности почвы выработки и потеря устойчивости её равновесного состояния. Такой подход позволил оценивать вероятность деформирования пород почвы в выработке вне зоны влияния очистных работ для заданных таких параметров, как глубина и физико-механическими свойствами окружающих выработку пород.

Ю. З. Заславский [61,85] считает, что основным критерием, определяющим устойчивое состояние пород почвы, является комплексный показатель  $\gamma H/\sigma_{сж}$ , характеризующий уровень напряжений в окрестности выработки, определяемый весом вышележающей толщи пород и их прочностью. Автор отмечает, что

данный критерий требует корректировки по таким факторам, как: угол залегания пород, их обводненность, слоистость массива, ориентировка выработки по отношению к напластованию (параллельно или перпендикулярно), её геометрические размеры и срок службы.

Г. Г. Литвинским, на основании анализа теоретических и экспериментальных данных разработал гипотезу [86], объясняющую причины потери устойчивости пород почвы с учетом различных видов механизмов деформирования пород почвы, показанных на рисунке 1.9.

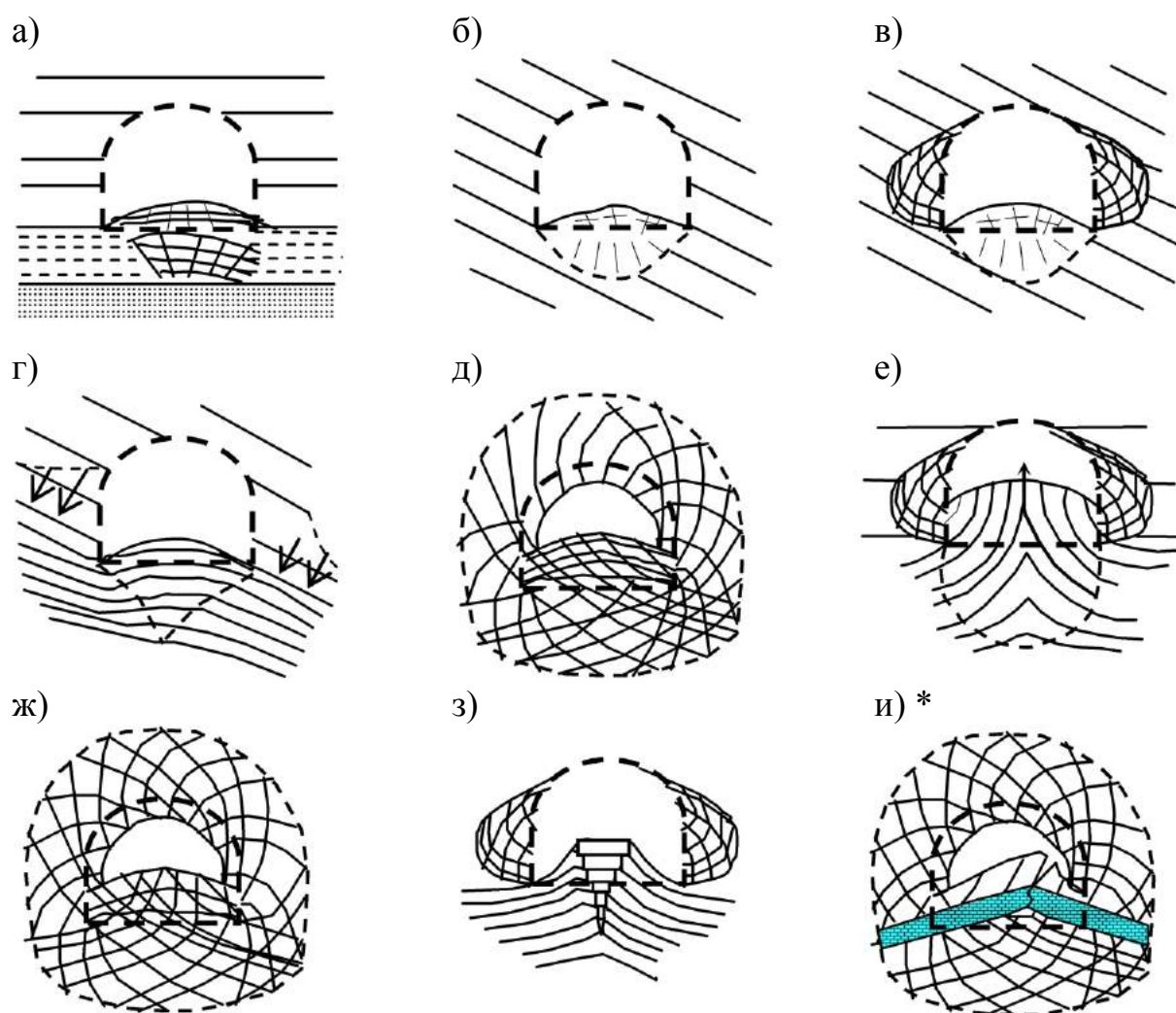


Рис. 1.9. Виды механизмов деформирования пород почвы: а) набухание; б) набухание, размокание; в) размокание с последующим набуханием; г) выдавливание из-под штампа; д) вязкое течение в ЗНД и наличие влаги; е) вязкопластическое течение и наличие влаги; ж) образование ЗНД; з) продольно-поперечный изгиб слоев с образованием ЗНД; и) образование ЗРП при наличии прочного слоя в текстуре пород почвы (\*рассматриваемый нами механизм)

При рассмотрении различных механизмов деформирования пород почвы (см. рис. 1.9а-з) он установил, что потеря устойчивости почвы происходит в результате наличия знакопеременных напряжений по контуру выработки. Для оценки состояния пород он предложил использовать нормированный критерий разрушения –  $\omega$ , который позволяет описать состояние участка контура выработки. Так при  $|\omega| < 1$  разрушение пород отсутствует, при  $\omega_{\langle - \rangle} < 1$  имеются разрушения пород от растяжения; при  $\omega_{\langle + \rangle} > 1$  имеются разрушения пород от сжатия. Следует отметить, что предложенный автором критерий [86] позволяет объяснить деформирование пород почвы в однородном и изотропном массиве.

Таким образом, проведенный обзор существующих представлений о механизмах деформирования пород почвы горных выработок, показал, что не существует единой теории, описывающей и объясняющей деформирование пород почвы горных выработок в различных условиях, что отчасти связано с рассмотрением текстуры пород почвы как однородной.

Рассматриваемый механизм деформирования пород почвы, показанный на рисунке 1.9и, при наличии в их текстуре прочного слоя, как показывает практика ведения горных работ [15,16,18,26,27,87], отличен от рассматриваемых и имеет свои особенности, что требует дополнительных исследований.

### **1.3 Обзор способов обеспечения устойчивости пород почвы горных выработок**

Для различных механизмов деформирования пород почвы предложено и разработано множество способов обеспечения их устойчивости, причем эффективность применения каждого способа будет зависеть от узкого круга горно-геологических условий для которого он разработан. При этом, в одних случаях эффект будет положительным, в других – отрицательным [5-8]. Поэтому проведем обзор известных способов обеспечения устойчивости пород почвы, воспользовавшись предложенной классификацией [88], приведенной на рисунке 1.10, в которой рассматриваемые способы делятся на пассивные и активные.

К пассивным способам относятся: ремонт выработки и применение конструкций крепей с обратным сводом или пологого лежня с возможностью его

усиления. Однако, как показывает практика применения конструкций замкнутых крепей на больших глубинах, стоимость проведения и поддержания выемочных выработках значительно увеличивается, при этом в случае разрушения элементов этих крепей, усложняет и удорожает ремонтные работы [13,14,61,85]. Поддержка пород является самым распространённым и наименее эффективным способом борьбы с пучением, приводящим еще к большим последующим смещениям пород почвы [89,90].

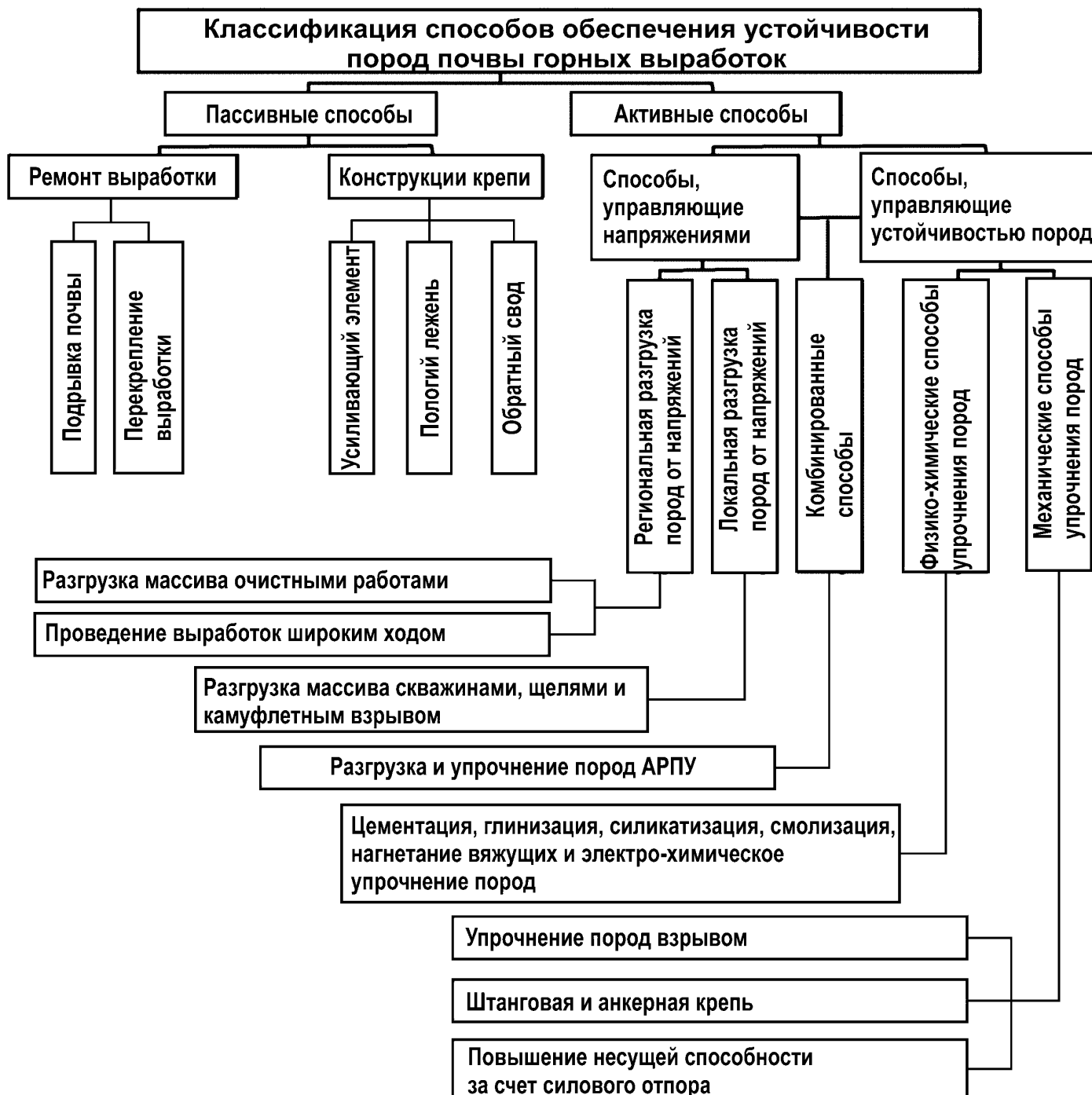


Рис. 1.10. Классификация способов обеспечения устойчивости пород почвы горных выработок

К активным относятся способы, влияющие на процесс НДС пород почвы. Они подразделяются на способы управляющие напряжениями и устойчивостью пород, а также комбинации этих способов.

К первому направлению активных способов, управляющих напряженным состоянием пород относят: расположение выработок в локальных и региональных зонах разгрузки [91], оставление целиков больших размеров [92], проведение выработок позади очистного забоя в выработанном пространстве или вприсечку к выработанному пространству [93], проведение подготовительных выработок в прочных породах почвы [94], нагнетание воды в приконтурную часть угольного массива для снижения остаточного опорного давления [38], применение щелевых и взрыво-щелевых способов и создание компенсационных щелей в почве выработок [14,50,19,20,60].

В качестве альтернативы крепям с обратным сводом был разработан комбинированный способ обеспечения устойчивости пород почвы, известный как АРПУ [95]. Данный способ обеспечивает устойчивость пород почвы за счет снижения напряжений в массиве пород путем применения активной разгрузки почвы взрывным способом с последующим нагнетанием связующих растворов для омоноличивания породных блоков, которые создают мощную породонесущую конструкцию в почве.

Анализа исследований по первой группе способов, управляющих напряженным состоянием пород, включая и АРПУ, показал, что их применение существенно осложняется высокой трудоёмкостью и большими затратами на реализацию, сложностью соблюдения особого режима при организации и ведении взрывных работ, узкой областью применения. При этом, менее затратным способам обеспечения устойчивости почвы, основанным на сохранении естественной прочности пород, не уделено достаточного внимания.

Ко второму направлению активных способов, обеспечивающих устойчивость пород относятся:

- 1) физико-химическое упрочнение пород, осуществляемое с целью предотвращения расслоения и разрушения пород почвы и их последующего выдавливания, например, за счет цементации, глинизации, силикатизации,

смолизации и электро-химического упрочнения почвы пласта. Такие способы эффективны в слабых трещиноватых породах почвы [88], где имеется необходимость повышения их устойчивости. Применение данного способа в прочных породах не целесообразно;

2) механическое упрочнение пород почвы, основанное на сохранении их прочности путем изменения напряженно деформированного состояния пород, за счет приложения различных видов воздействия. К ним относятся: упрочнение пород взрывом, анкерное крепление, обеспечение несущей способности за счет силового отпора.

Сохранение прочности пород почвы взрывным способом можно обеспечить только лишь в условиях глин [50], когда за счет взрывания камуфлетных зарядов происходит их уплотнение.

Анкерное крепление пород почвы обеспечивает устойчивость выработок за счет того, что [96]: слои малоустойчивых пород «пришивают» анкерами к устойчивым нижележащим породным слоям; несколько слоев пород, скрепленных между собой, противодействуют изгибающему моменту сил, как единая составная балка, которая имеет значительно большее предельное сопротивление на изгиб, чем сумма сопротивлений отдельных слоев; «сшитая» анкерами толща пород (рис. 1.11а) лучше противодействует напряжениям, возникающим в породах почвы [97], или дополнительно обеспечивают устойчивость химическим анкерованием [98], которое препятствует их расслоению (рис. 1.11б).

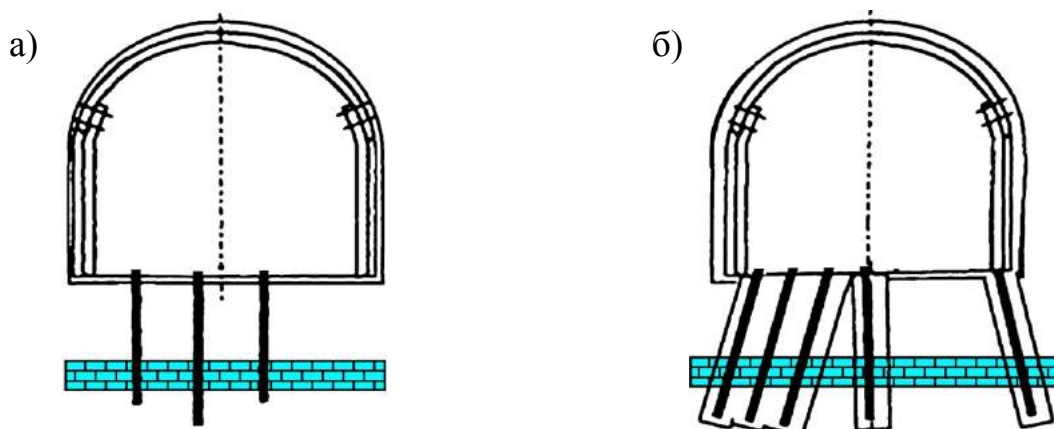


Рис. 1.11. Механические способы упрочнения, с помощью анкерования почвы, путем: а – «сшивки» прочных слоёв; б – химическим закреплением

Однако, анкерная крепь, имеет ограниченную область применения, а в выемочных выработках анкерование почвы не эффективно [14], т.к. в зоне влияния очистных работ слои пород подвергаются интенсивным деформациям, разрушаются, происходит выдавливание слоев пород почвы в полость выработки, в которой остались анкеры, что затрудняет производить поддирку почвы.

Также широкое применение нашли механические способы повышения несущей способности пород за счет силового отпора в зоне влияния очистных работ, основные их виды показаны на рисунке 1.12.

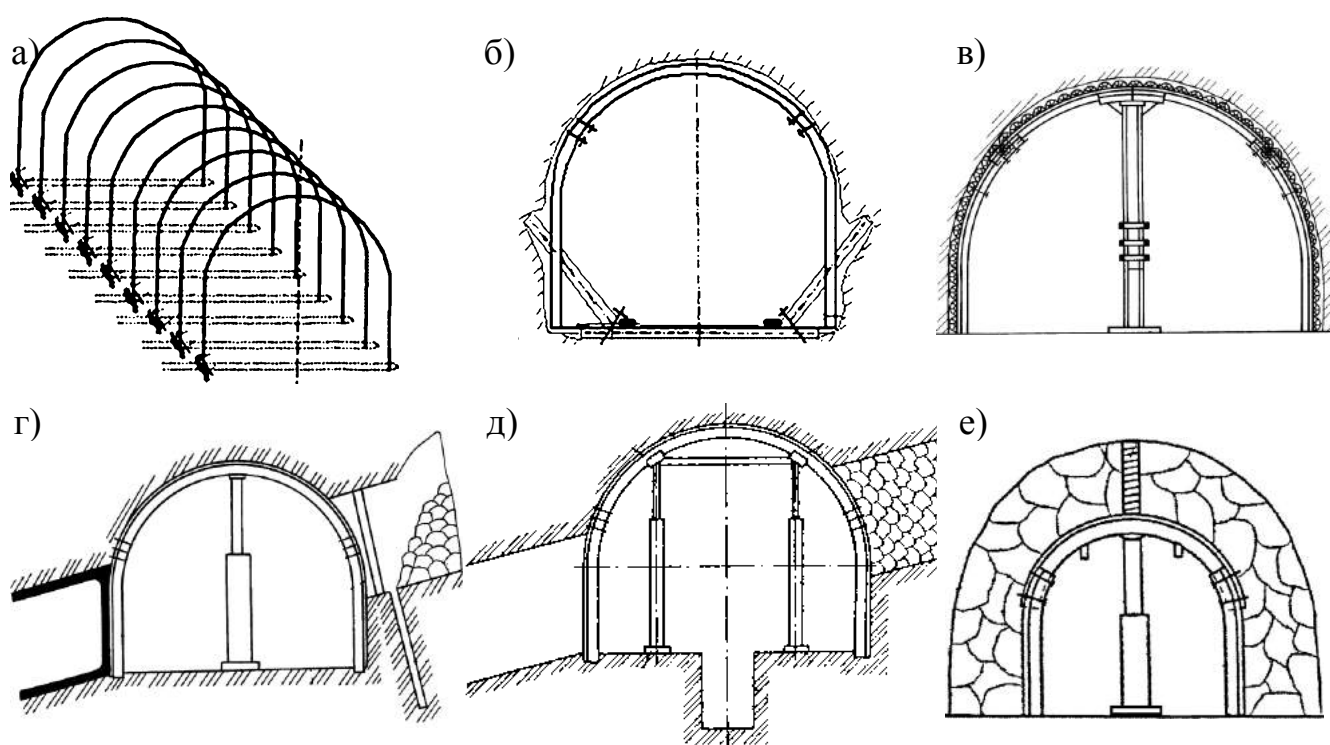


Рис. 1.12. Механические способы упрочнения почвы, путем повышения несущей способности пород за счет силового отпора: а) спаренными канатами; б) лежнем с упорами; в) крепь усиления с компенсационной щелью; г) податливая крепь усиления с поддерживающим элементом верхняка основной крепи и опорной плитой; д) парные стойки с разгрузочной полостью; е) крепь усиления с подпором основной кровли

В работах [99,100] автор предлагает два способа механического предотвращения выдавливания пород почвы, основанных на применении гибкой поперечной связи ножек арочной крепи спаренными канатами (см. рис. 1.12а) и



укладке между рамами арочной крепи поперечных лежней с 2-мя упорными стойками по его концам (см. рис. 1.12б). Первый вариант отпора выдавливанию пород почвы имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что при смещении пород почвы в полость выработки происходит натяжение канатов и выдавливание ножек крепи в выработку [101,102]. Второй вариант отпора осуществляется за счет создания по контуру почвы выработки достаточно жесткой конструкции, которая эффективно работает в прочных породах почвы. В условиях слабых пород почвы будет происходить обыгрывание лежней, а вопрос об использовании данной конструкции в разнопрочных породах почвы нуждается в дополнительных исследованиях [103].

Способы, представленные в работах [104-107], с теми или иными особенностями обеспечивают устойчивость пород почвы выемочных выработок при силовом воздействии крепи усиления на почву в зоне влияния очистных работ до зоны стабилизации горного давления.

Техническое решение, представленное в работе [104], отличается от обычных индивидуальных крепей усиления наличием опорной плиты в нижней части крепи и использовании опорного «башмака» для соединения верхней части крепи с ее верхняком (см. рис. 1.12в), что обеспечивает стабильность конструкции. В способах [105,106] эффективность работы крепи усиления достигается за счет совместного её применением с компенсационной щелью в выработанном пространстве (см. рис. 1.12г) и с разгрузочной полостью по центру выработки (см. рис. 1.12д), что обеспечивает устойчивое состояние почвы, за счет выравнивания напряженного состояния горного массива. Отличие же способа [107], заключается в установке крепи усиления с опорным элементом, подпирающим основную кровлю (см. рис. 1.12е), тем самым создается распор и обеспечивается лучшее взаимодействие с породами кровли.

Общим недостатком рассмотренных механических способов обеспечения устойчивости пород почвы за счет силового отпора их выдавливанию является то, что силовое воздействие производится без учета слоистой текстуры пород почвы. В случае же, разнопрочных слоёв в текстуре почвы, силовое усилие передается

лишь на её верхний слой и, тем самым создается силовое воздействие лишь на локальный участок почвы. При этом прочный слой, имеющий большую несущую способность, не может выступать в качестве породного моста, и воспринимать силовое воздействие смещающихся пород кровли и почвы [108].

Таким образом, наиболее перспективным направлением обеспечения устойчивости почвы горных выработок является использование несущей способности пород, имеющее ряд преимуществ: простота реализации, локальное воздействие, возможность демонтажа и экономия материальных и трудовых затрат.

Выбор и обоснование рациональных параметров способа обеспечения устойчивости, регламентируемого отраслевыми нормативными документами, во многом зависит от правильного выбора методики оценки устойчивости боковых пород. Для этого необходимо выполнить анализ методик оценки устойчивости породного массива, вмещающего рассматриваемую горную выработку.

#### **1.4 Анализ методик расчета устойчивости породного массива, вмещающего горные выработки**

Для оценки устойчивости горных выработок, расчета нагрузки на крепь и определения смещений пород в выработку в ряде предложенных методик [5,61,114-123], согласно требований нормативных документов [109-113] и используется значение расчетного сопротивления сжатию пород кровли и почвы –  $R_{сж}$ . Для расчета значения  $R_{сж}$  используют физико-механические свойства горных пород, прежде всего это предел прочности на одноосное сжатие  $\sigma_{сж}$ . Однако усреднённое значение  $R_{сж}^{ср}$  не в полной мере характеризует деформационные свойства пород в массиве, имеющих свои структурно-механические особенности. Реальный породный массив представляет собой текстуру пород из чередующихся слоёв, значения прочности и толщины, которых изменяются в широких пределах. В таком случае сложно оценить устойчивость слоистых пород почвы [124], особенно, когда в непосредственной близости от контура почвы залегает «прочный» «маломощный» слой.

Рассмотрим существующие методики расчета показателя  $R_{сж}^{ср}$ , от которого зависят оценки устойчивости, прогнозные смещения и выбор способов охраны горных выработок. Согласно, указаниям [109,110], средневзвешенное расчетное сопротивление породного массива сжатию при наличии слоев с различной прочностью определяется по формуле:

$$R_{сж}^{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{сжi} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (1.1)$$

где  $m_i$  – толщина  $i$ -го слоя в текстуре пород, м.

$R_{сжi}$  – расчетное сопротивление сжатию  $i$ -го слоя в текстуре пород почвы и кровли в массиве, Н/м<sup>2</sup>, определяемое по формуле:

$$R_{сжi} = \sigma_{сжi} \cdot k_{ci} \cdot k_{wi} \quad (1.2)$$

где  $\sigma_{сжi}$  – значение прочности на одноосное сжатие в образце  $i$ -го слоя в текстуре пород почвы и кровли, МПа;

$k_{ci}$  – коэффициент структурного ослабления пород, учитывающий дополнительную нарушенность массива пород поверхностями без сцепления либо с малой связанностью, выбирается в зависимости от типа пород  $i$ -го слоя;

$k_{wi}$  – коэффициент обводненности, учитывающий длительную технологическую обводненность горной выработки, выбирается в зависимости от типа пород  $i$ -го слоя;

$n$  – суммарное количество слоев слагающих текстуру пород с толщиной  $m_i > 0,1$  м с учетом разницы  $\sigma_{сж}$  более 30%, залегающих на расстояниях 1,5В в кровле и 1В в почве и боках выработки от контура выработки.

Исходя из того, что степень влияния прочности слоев в текстуре пород, непосредственно примыкающих к выработке, гораздо большая, чем более удаленных от нее, авторами работы [118] предложена методика расчета для определения, приведенного сопротивления сжатию массива пород, учитывающего расстояние от контура выработки до разнопрочных слоёв по следующей формуле:

$$R_{сж}^{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{сжi} \cdot m_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n m_i \cdot h_i} \quad (1.3)$$

где  $h_i$  – расстояние от контура выработки до  $i$ -го слоя пород, м.

По мнению В.М. Андриенко [119] при решении вопросов, связанных с прогнозом устойчивости горных выработок, необходимо также учитывать не только удаленность слоя в текстуре пород определенной прочности от контура выработки, но и степень его участия в общей массе смещающихся пород. Приведенное сопротивление одноосному сжатию породного массива, окружающего выработку, рекомендуется определять по формуле:

$$R_{сж}^{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{сжi} \cdot m_i \cdot k_i}{\sum_{i=1}^n m_i \cdot k_i} \quad (1.4)$$

где  $k_i$  – коэффициент, отражающий долю участия  $i$ -го слоя в общей массе слагающих текстуру пород, определяемый из выражения:

$$k_i = e^{-\alpha h_i} \quad (1.5)$$

где  $\alpha$  – эмпирический коэффициент, зависящий от способа проведения и охраны выработки;

Согласно, нормативным документам [111-113], выбор способов охраны и расчет  $R_{сж}^{ср}$  осуществляется, аналогично (1.4), а учет влияния слоев пород учитывается при их толщине не более 5 м и удалении не более чем на 20 м от середины выработки в кровле и почве, с использованием коэффициента структурного ослабления  $k_i$ , учитывающего влияние слоев в текстуре породного массива и определяемого по формуле:

$$k_i = \exp \left[ -\alpha \left( h_i - \frac{l}{2} \right) \right], \quad (1.6)$$

где  $\alpha$  - эмпирический коэффициент равный  $\alpha=0,2$  [111] для горно-геологических условий Донбасса при охране выработки за счет проведения ее вприсечку к выработанному пространству ранее отработанной лавы;

$h_i$  - расстояние от середины выработки в проходке до середины  $i$ -го слоя пород, м;

$l$  - высота выработки в проходке, м.

Согласно методике [111] предложена следующая классификация для определения состояния пород почвы: при  $R_{сж} \geq 60$  МПа состояние устойчивое,  $R_{сж} = 30 \div 60$  МПа – среднеустойчивое,  $R_{сж} \leq 30$  МПа – неустойчивое.

В работах [5, 61, 114-123], при соблюдении требований [4] (в части сохранения формы и размеров выработок), на основании оценки геомеханического состояния вмещающих пород были выполнены исследования и разработаны методики для выбора и обоснования способов обеспечения устойчивости подземных горных выработок. На базе этих условий был разработан ряд численных критериев, позволяющих оценивать состояние породного массива по степени его устойчивости.

По результатам исследований проявлений горного давления для выработок, не подверженных влиянию очистных работ, Ю. З. Заславский [61,85] предложил критерий устойчивости породного массива, вмещающего выработку:

$$k_y = \frac{\gamma_m H_p}{R_{сж}^{cp}} \quad (1.7)$$

где  $\gamma_m$  – объемный вес породного массива, Н/м<sup>3</sup>;

$H_p$  – расчетная глубина расположения выработки, м;

$R_{сж}^{cp}$  – расчетная средневзвешенная прочность пород, Н/м<sup>2</sup>.

Данный критерий дает возможность оценивать НДС породного массива и влияние глубины разработки на  $R_{сж}^{cp}$ .

Для выработок подверженных влиянию очистных работ, на основе экспериментальных исследований указанный критерий был уточнен КузНИИШахтостроем [120] и предложен в виде:

$$k_y = \frac{\gamma_m H_p k_1 k_2 k_3}{R_{сж}^{cp}} \quad (1.8)$$

где  $k_1$  – коэффициент концентрации напряжений, учитывающий форму выработки;

$k_2$  – коэффициент концентрации напряжений за счет влияния близко расположенных выработок;

$k_3$  – коэффициент концентрации напряжений за счет влияния очистных работ.

В условиях глубоких шахт Донбасса при оценке устойчивости пород удовлетворительные результаты получены при использовании выражения [114]:

$$k_y = \frac{\gamma_m H_p}{f_c m_T R_{сж}^{cp}} \quad (1.9)$$

где  $f_c$  – коэффициент стойкости породного массива;

$m_T$  – коэффициент тектонической характеристики породного массива.

Другой, более детальный критерий устойчивости, определяется следующим выражением [121]:

$$k_y = \frac{q \eta_1 \eta_2 \eta_3}{k_{c1} k_{c2} k_{c3} R_{сж}^{cp}} \quad (1.10)$$

где  $k_{c1}$  – коэффициент структурного ослабления породного массива;

$k_{c2}$  – коэффициент длительной прочности породного массива;

$k_{c3}$  – коэффициент снижения прочности породного массива из-за обводненности;

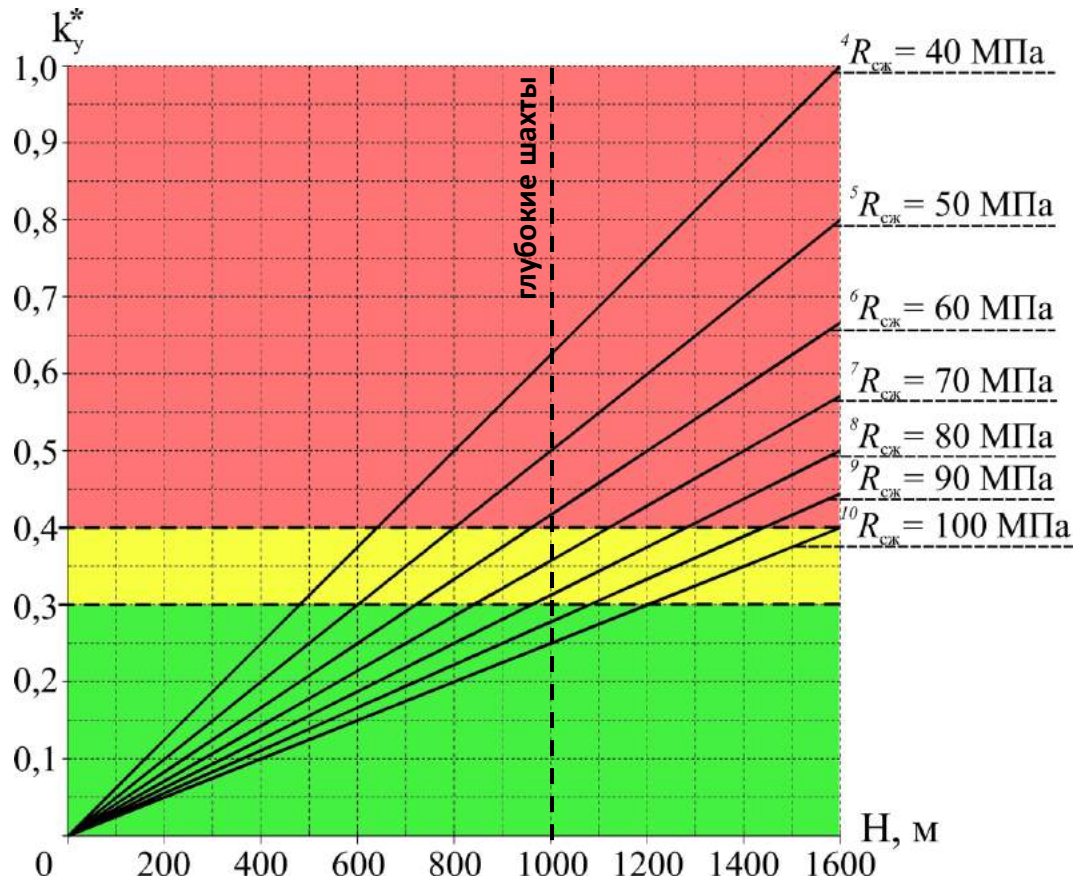
$q$  – вертикальная составляющая начального поля напряжений породного массива  $q = \gamma_m H_p$ , Н/м<sup>2</sup>;

$\eta_1$  – коэффициент концентрации напряжений на контуре выработки;

$\eta_2$  – коэффициент влияния смежных выработок;

$\eta_3$  – коэффициент влияния очистных работ.

Как видно из формул (1.7-1.10) при расчете критерия  $k_y$  используется расчетная средневзвешенная прочность  $R_{сж}^{ср}$ , определяемая по прочности пород на одноосное сжатие в образце  $\sigma_{сж}$  для всех слагающих породных слоёв и уточняющие коэффициенты для конкретных горно-геологических условий. Проанализируем критерий  $k_y$ , с помощью графика, показанного на рисунке 1.13.



\*при расчете  $k_y$  объемный вес породного массива принят  $\gamma_m = 26700 \text{ Н/м}^3$

Рис. 1.13. Распределение критерия  $k_y$  в зависимости от  $H$ ,  $R_{сж}$  для горных выработок Донбасса, характеризующего их состояние, как:

- устойчивое –  $k_y < 0,3$ ,
- среднеустойчивое –  $k_y = 0,3 \div 0,4$ ,
- неустойчивое –  $k_y > 0,4$

Путем статической обработки данных о состоянии горных выработок Донбасса, авторами [61,85,114,123] предложена классификация состояния породного массива по численными значениями критерия  $k_y$ . Устойчивое состояние пород наблюдается при  $k_y \leq 0,3$ , среднеустойчивое состояние –  $k_y = 0,3 \div 0,4$ , и неустойчивое состояние –  $k_y \geq 0,4$ .

Для пород почвы согласно, нормативным документам [109,110] определены 4 типа их устойчивого состояния. Устойчивое состояние пород почвы наблюдается при  $k_y \leq 0,3$  (отнесены к не пучащим), среднеустойчивое –  $k_y = 0,3 \div 0,4$  (малопучащие), неустойчивое –  $k_y = 0,4 \div 1,0$  (пучащие) и весьма неустойчивое –  $k_y \geq 1,0$  (сильнопучащие).

Из представленного на рис. 1.13 распределения критерия  $k_y$  определяемого по формуле (1.7), в зависимости от  $R_{сж}$  и  $H$  следует, что при равных горно-геологических условиях границей устойчивого состояния является значения  $k_y \leq 0,4$ , что соответствует глубине разработки  $H > 1000$  м и обеспечивается породами с прочностью  $\sigma_{сж} > 60$  МПа. Для шахт Донбасса такими прочными породами являются известняки, песчаники, прочные песчаные сланцы, способные без разрушения выдерживать большие напряжения. Неустойчивое состояние пород наблюдается при  $k_y > 0,4$ , что соответствует породам с  $\sigma_{сж} < 60$  МПа, к которым относятся алевролиты и аргиллиты (см. табл. А.2 Приложение А).

Для сравнения в таблице 1.2, приведены две методики оценки устойчивости: по критерию (1.7) и по рекомендациям нормативного документа ДонУГИ [111].

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что согласно методике ДонУГИ породы при значениях  $R_{сж} \geq 60$  МПа все считаются устойчивыми. Согласно методике Ю.З. Заславского, при  $R_{сж} = 60$  МПа для глубин до 700 м ( $k_y = 0,3$ ) состояние пород определяется как устойчивое; для глубин от 700 до 1000 м породы среднеустойчивы ( $k_y = 0,3 \div 0,4$ ) и при глубинах более 1000 м породы неустойчивы ( $k_y > 0,4$ ), что в большей степени соответствует состоянию горных выработок в реальных условиях.

Таким образом, критерий  $k_y$  более достоверно позволяет соотнести прочностные свойства породного массива и величину первоначального горного давления, однако, как видно из формул (1.7-1.10) для прогноза устойчивости в любом случае принимается величина  $R_{сж}^{cp}$ . Однако в расчетах (1.1), (1.3), (1.4) средневзвешенной величины  $R_{сж}^{cp}$ , результирующее значение прочности будет зависеть от слоя пород, обладающего большей толщиной и находящегося ближе к контуру выработки.



Сравнения значений критерия устойчивости  $k_y$  с методикой ДонУГИ

Глубина, м	Показатель устойчивости боковых пород по ДонУГИ*						
	Устойчивые ( $R_{сж} \geq 60$ МПа)				Среднеустойчивые ( $R_{сж} = 30 \div 60$ МПа)		
	Сопротивление пород сжатию, $R_{сж}$ , МПа						
	100	90	80	70	60	50	40
100	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
200	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11
300	0,08	0,08	0,09	0,11	0,13	0,15	0,16
400	0,10	0,11	0,13	0,14	0,17	0,20	<b>0,30</b>
500	0,13	0,14	0,16	0,18	0,21	<b>0,30</b>	0,31
600	0,15	0,17	0,19	0,21	<b>0,30</b>	0,31	0,32
700	0,18	0,19	0,22	<b>0,30</b>	0,31	0,35	0,40
800	0,22	0,24	<b>0,30</b>	0,31	0,36	0,43	0,46
900	0,23	<b>0,30</b>	0,31	0,32	0,38	0,45	0,49
1000	<b>0,30</b>	0,31	0,32	0,36	0,42	0,50	0,54
1100	0,31	0,32	0,34	0,39	0,46	0,55	0,59
1200	0,32	0,33	0,38	0,43	0,50	0,60	0,65
1300	0,33	0,36	0,41	0,46	0,54	0,65	0,70
1400	0,35	0,39	0,44	0,50	0,58	0,70	0,76
1500	0,38	0,42	0,47	0,54	0,63	0,75	0,81

\*при расчете  $k_y$  объемный вес пород принят  $\gamma_m = 25000$  Н/м<sup>3</sup>

В нашем же рассматриваемом случае, указанные выше методики расчета  $R_{сж}^{cp}$  не лишены существенного недостатка, заключающегося в том, что при определении степени участия отдельных слоев в текстуре пород имеющих большую прочность  $\sigma_{сжi}$ , но малую толщину  $m_i$ , не учитываются их деформационные особенности, что, тем самым, вносит ошибку в оценку устойчивости слоистой почвы [124]. В силу этого и критерий устойчивости породного массива  $k_y$  будет зависеть от слагающих его элементов в текстуре разнопрочных слоёв пород, включающих такую же методику их учета в  $R_{сж}^{cp}$ . Существенная разница в прочности  $\sigma_{сжi}$   $i$ -х слоёв в текстуре пород почвы в расчете  $k_y$  будет влиять на достоверность оценки состояния её устойчивости [125-127].

Таким образом, все рассмотренные методики сводятся к проблеме осреднения, что не позволяют учесть влияние на устойчивость пород почвы горных выработок разнопрочных слоёв, и их параметров, таких, как прочность, толщина и глубина залегания.

### 1.5 Цель и задачи исследований

Изложенный выше анализ показывает, что на сегодняшний день из-за деформирования пород почвы около 65% горных выработок находятся в неудовлетворительном состоянии. Больше всего затрат, приходится на выработки, поддерживаемые в зоне влияния очистных работ при сплошной системе разработки, так для шахт ГП «ДУЭК» общая доля участковые затраты на ремонт в выемочных выработках, связанных с поддиркой почвы составляет 43,3%.

При наличии в текстуре пород почвы прочного слоя его разрушение происходит в результате развития породной складки с образованием крупных породных блоков, при поддирке которых необходимо применять буровзрывные работы, что увеличивает энергозатраты на разрушение пород и снижает темпы работ более чем в 5 раз.

Анализ состава углевмещающих пород Донецко-Макеевского района Донбасса показал, что чередование слоёв в текстуре пород почвы представлено в следующем порядке: в 82% случаев первым слоем встречаются слабые породы – аргиллиты со средним пределом прочности на одноосное сжатие  $\sigma_{сж}^{ср} \approx 40$  МПа или алевролиты с  $\sigma_{сж}^{ср} \approx 60$  МПа; вторым прочным слоем в 32% случаев встречаются песчаники с  $\sigma_{сж}^{ср} \approx 80$  МПа или известняки с  $\sigma_{сж}^{ср} \approx 120$  МПа; третий слой почвы в 80% случаев представлен слабыми породами. Таким образом, в 26,3% случаев в непосредственной близости от почвы угольного пласта встречается прочный слой, что существенно осложняет ремонтные работы и повышает их стоимость.

Проведенный обзор существующих представлений о механизмах деформирования пород почвы горных выработок, показал, что не существует единой теории, описывающей и объясняющей деформирование пород почвы горных выработок в различных условиях, что отчасти связано с рассмотрением текстуры пород почвы как однородной. Практика ведения горных работ показывает, что при наличии разнопрочных слоёв в текстуре пород меняется характер их деформирования, что не учитывается в известных методиках оценки устойчивости и предложенных способах её обеспечения. Наиболее перспективным направлением обеспечения устойчивости почвы горных выработок является использование несущей способности пород, имеющее ряд преимуществ: простота реализации, локальное воздействие, возможность демонтажа и экономия материальных и трудовых затрат.

Исходя из вышеизложенного, цель работы заключается в обеспечении устойчивости пород почвы выемочных выработок при наличии в их текстуре прочных слоёв и разработки нового способа обеспечения устойчивости пород почвы на основе использования их несущей способности.

Для достижения поставленной цели в диссертации были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Разработать методику оценки влияния прочного слоя при наличии его в текстуре разнопрочных пород почвы на её устойчивость.

2. Установить особенности и закономерности процесса деформирования разнопрочных пород почвы выемочных выработок при наличии в их текстуре прочных слоёв.

3. Разработать способ обеспечения устойчивости пород почвы выемочных выработок и обосновать его рациональные параметры.

4. Провести шахтные испытания способа обеспечения устойчивости пород почвы выемочных выработок.

## РАЗДЕЛ 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОРОДАХ ПОЧВЫ  
ПРИ НАЛИЧИИ В ИХ ТЕКСТУРЕ ПРОЧНЫХ СЛОЁВ

Для решения поставленных задач в работе использован комплексный подход с применением аналитических, лабораторных и шахтных исследований.

**2.1 Оценка влияния прочного слоя при наличии его в текстуре  
разнопрочных пород почвы на её устойчивость**

В разделе 1.4 было показано, что методики определения устойчивости пород не лишены существенного недостатка, вызванного довольно сложной проблемой, которую называют проблемой осреднения [128]. Поэтому перед решением поставленных задач необходимо выработать подход, который учитывал бы элементы цельного объекта с приведенными их параметрами к его средней величине. Так как породный массив представляет собой слоистую текстуру, то его физико-технические параметры, как целого объекта, обусловлены усредненным содержанием физико-технических свойств его элементов – слоёв пород и их взаимным расположением. Очевидно, что осреднённые физико-технические характеристики породного массива, как целого объекта, не дают сведений об отдельных его элементах с максимальными отличительными свойствами слоёв, слагающих его текстуру. Трудность учета одного из множества элементов на среднюю величину, обусловлена влиянием  $n$ -го количества параметров, вносящих существенный вклад в изменение этой величины одних и тех же элементов [129].

Постановка задачи сводится к выработке подхода по выявлению отличий между параметрами элементов – слоёв, слагающих почву выработки, с целью нахождения из их множества одного влияющего на её элемента – «прочного» слоя, с показателем, определяющим степень его влияния на устойчивость почвы.

Поэтому рассмотрим породный массив из слагающих его элементов по признаку: «устойчивые слои пород» и «неустойчивые слои пород».

«Устойчивые слои пород» – это прочные  $i$ -е слои пород, располагающийся в почве выработки и обладающий достаточной прочностью  $\sigma_{сж\ i}^п$  с устойчивым состоянием по показателю  $k_{y\ i}$  по сравнению с другими  $i$ -ми слоями. В противоположность этому второй элемент «неустойчивые слои пород» – это совокупность всех остальных слабых  $i$ -х слоёв пород с прочностью  $\sigma_{сж\ i}^{сл}$ , со средним или неустойчивым состоянием по показателю  $k_{y\ i}$ .

На рисунке 2.1 показана почва горных выработок, состоящая из чередующихся слоёв пород с различной устойчивостью, оцениваемой по критерию  $k_y$ , который рассчитывается по формулам (1.7-1.10). Следовательно,  $k_y$  будет зависеть, от прочностных показателей слагающих почву прочных ( $\sigma_{сж\ i}^п$ ) и слабых ( $\sigma_{сж\ i}^{сл}$ )  $i$ -х слоёв, а прочный слой с наибольшим показателем прочности  $\sigma_{сж\ i}^п = \sigma_{сж\ i}^{п\ max}$  будет влиять на деформационные особенности почвы. При этом также необходимо учитывать степень влияния отдельных  $i$ -х прочных слоёв в текстуре пород имеющих меньшую глубину залегания от подошвы  $h_i$ , и большую толщину  $m_i$ ,



Рис. 2.1. Строение почвы при наличии в её текстуре слоёв пород с различной устойчивостью, где:  $k_{y\ i}$  – критерий устойчивости пород  $i$ -го слоя;  $\sigma_{сж\ i}^п$  и  $\sigma_{сж\ i}^{сл}$  – сопротивление сжатию пород прочного и слабого  $i$ -го слоя;  $m_{п\ i}$  и  $m_{c\ i}$  – толщина пород прочного и слабого  $i$ -го слоя;  $h_i$  – глубина залегания пород  $i$ -го слоя;  $п_i$  и  $сл_i$  – кол-во  $i$ -х прочных и слабых слоёв в почве;  $B$  – ширина выработки

В Приложение Б приведена блок-схема алгоритма выбора «прочного слоя» в текстуре пород почвы. Согласно предложенному в блок-схеме алгоритму выбора наиболее влияющего слоя в текстуре пород, предложен критерий «прочного слоя», обладающий наибольшей прочностью  $\sigma_{сж\ i}^п = \sigma_{сж\ i}^{п\ max}$  с устойчивым состоянием  $k_{y\ i} > k_{уст}$

и максимальным соотношением  $m_i/h_i$  по сравнению с другими  $i$ -ми прочными слоями, слагающими почву выработки.

Для оценки степени влияния прочного слоя на процесс деформирования разнопрочных пород почвы в работе предлагается использовать коэффициент разнопрочности  $k_R$ , величина которого определяется из выражения:

$$k_R = \frac{\sigma_{сж}^п \cdot m_{пр}}{\sigma_{сж}^{сл} (B - m_{пр})} \quad (2.1)$$

где  $\sigma_{сж}^п$  и  $\sigma_{сж}^{сл}$  – предел прочности на одноосное сжатие, соответственно прочного слоя и средневзвешенного значения прочности остальных слабых слоёв пород, слагающих почву выработки, определяемого как:  $\sigma_{сж}^{сл} = \sum \sigma_{сж}^{сл} \cdot m_{ci} / \sum m_{ci}$ , МПа, расположенных до глубины равной значению ширины выработки  $B$ ;  $m_{пр}$  и  $m_{ci}$  – соответственно толщина прочного и  $i$ -х слабых слоёв пород почвы, м.

Выразим формулу (2.1) через переменные  $\Delta$  и  $m_{пр}^{\Delta}$ , где:

$\Delta = \sigma_{сж}^п / \sigma_{сж}^{сл}$  – относительная величина, показывающая отношения прочности пород слабых слоёв  $\sigma_{сж}^{сл}$  и прочного слоя  $\sigma_{сж}^п$ , слагающих почву;

$m_{пр}^{\Delta} = m_{пр} / (B - m_{пр})$  – относительная величина, показывающая долю толщины прочного слоя пород в толще, равной  $B$ , рассчитываемой почвы выработки.

$$k_R(\Delta; m_{пр}^{\Delta}) = \Delta \cdot m_{пр}^{\Delta} \quad (2.2)$$

На рисунке 2.2 показаны графики построенных зависимостей коэффициента разнопрочности  $k_R$  от  $\Delta$  для каждого значения  $m_{пр}^{\Delta}$ , согласно формуле (2.2).

Так согласно, проведенному анализу в разделе 1.4, слои пород, учитываемые в расчете должны обладать толщиной более 0,1 м и отличаться прочностью более чем на  $\pm 30\%$  по сравнению с соседними слоями. При этом подверженные складкообразованию породы почвы участвуют в процессе выдавливания, на глубину равной половине ширины выработки, которая в среднем составляет для выемочных выработок не более 5 м. Разница между максимальной и минимальной прочностью пород отличается не более чем в 12 раз (см. Приложение А табл. А.2).

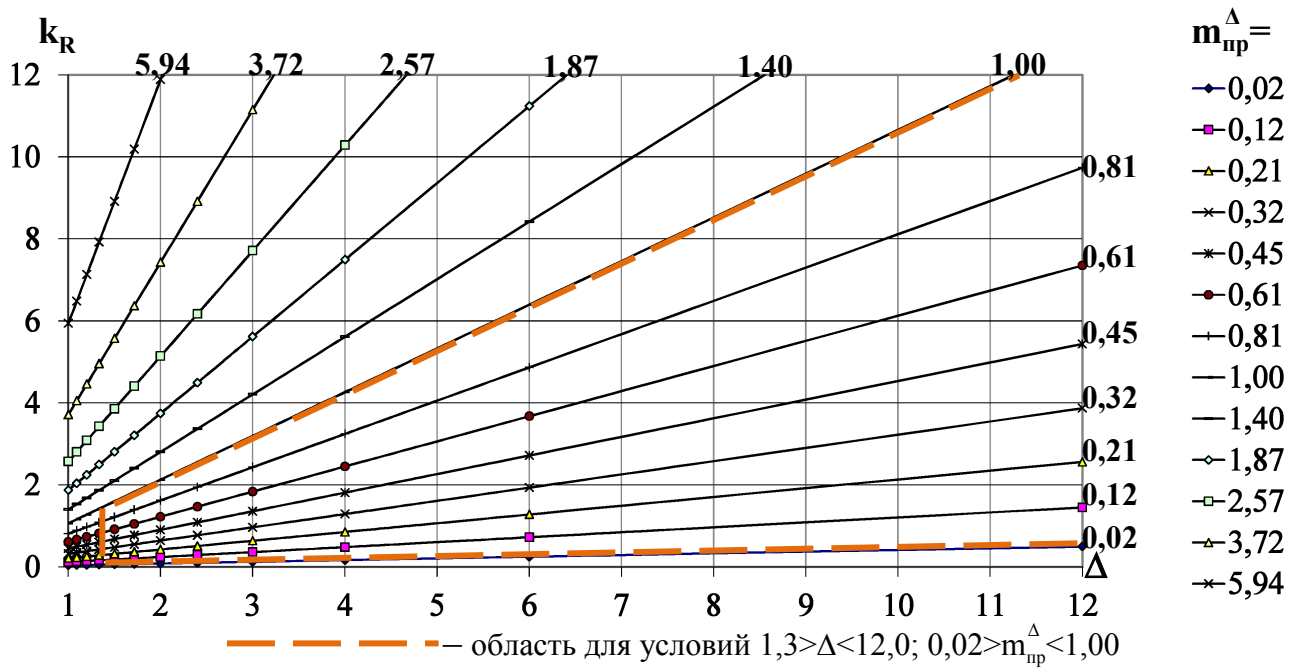


Рис. 2.2. График зависимости коэффициента разнопрочности  $k_R$  от  $\Delta$  для  $m_{пр}^{\Delta}$

Для условий Донецко-Макеевского района Донбасса область значений для  $\Delta$  составит от 1,3 до 12,0 и для значений  $m_{пр}^{\Delta}$  составит от 0,02 до 1,00 (см. рис 2.2).

Из рисунка 2.2 видно, что коэффициент разнопрочности  $k_R$  линеен и его значение тем выше, чем больше толщина прочного слоя в толще слабых пород почвы, и чем ниже прочностные характеристики этой толщи по сравнению с расположенным в нем прочным слоем пород. Коэффициент разнопрочности  $k_R$  показывает соотношение между параметрами (толщиной и прочностью) прочного слоя (в устойчивом состоянии) и параметрами остальных слабых слоёв (в неустойчивом состоянии) в текстуре пород почвы.

Как показал анализ, выполненный в разделе 1.1, в породах почвы Донецко-Макеевского района Донбасса в 26,3% случаев в непосредственно вблизи от контура выработки встречаются слои, представленные 2-я типами слабых пород: аргиллиты, алевролиты; и 2-я типами прочных пород (песчаник, известняк); в различных сочетаниях и порядке следования друг за другом.

В таблице 2.1, приведен расчет коэффициента разнопрочности для пород почвы Донецко-Макеевского района Донбасса, согласно полученным результатам представленных в Приложении А.

Таблица 2.1.

Значение коэффициента разнопрочности  $k_R$  в текстуре пород почвы Донецко-Макеевского района Донбасса\*

Породы основной толщи почвы, представленной слабыми неустойчивыми слоями	Породы устойчивого слоя почвы, отвечающие критерию «прочный слой»	
	Песчаник ( $\sigma_{сж}^п \approx 80$ МПа)	Известняк ( $\sigma_{сж}^п \approx 120$ МПа)
Аргиллит ( $\sigma_{сж}^{сл} \approx 40$ МПа)	0,04÷2,00	0,06÷3,00
Алевролит ( $\sigma_{сж}^{сл} \approx 60$ МПа)	0,03÷1,30	0,04÷2,00

\*При расчете данных таблицы принято:  $H_p > 1000$  м;  $0,02 > m_{пр}^\Delta < 1,00$

Для выявления изменений качественной картины деформирования пород почвы проведем типизацию значений  $k_R$  для различных сочетаний и порядке следования друг за другом слоёв пород в условиях Донецко-Макеевского района Донбасса (см. Приложение А) и в дальнейшем автор при проведении исследований будет пользоваться классификацией, приведённой в таблице 2.2.

Таблица 2.2.

Типизация значений коэффициента разнопрочности  $k_R$  для пород почвы Донецко-Макеевского района Донбасса

Тип	Слои пород в текстуре почвы*: слабый /прочный /слабый	Расчетная функция $k_R(\Delta, m_{пр}^\Delta)$ при $m_{пр}^\Delta = 0,02 \div 1,00$	Значение $\Delta$
I	АР/АЛ/АР; АЛ/АР/АЛ; АР/П/АЛ	$k_R^I = 0,03 \div 1,85$	$\Delta^I = 1,33 \div 1,85$
II	АР/П/АР; АЛ/П/АЛ; П/П/П	$k_R^{II} = 0,04 \div 2,77$	$\Delta^{II} = 1,85 \div 2,77$
III	АР/И/АР; АЛ/И/АЛ; П/И/П	$k_R^{III} = 0,06 \div 3,69$	$\Delta^{III} = 2,77 \div 3,69$

\*АР – аргиллит; АЛ – алевролит; П – песчаник; И – известняк

Таким образом, на оценку устойчивости пород почвы влияет наличие прочного слоя, которую предложено оценивать с использованием его параметров (расположение от подошвы выработки  $h_{пр}$ , толщина  $m_{пр}$  и прочность  $\sigma_{сж}^п$ ), а также учитывать влияние остальных слагающих почву слабых слоёв за счет использования коэффициента разнопрочности  $k_R$  для трех типов текстур.



## 2.2 Аналитические исследования

Наиболее удобным и широко применяемым для решений задач геомеханики является МКЭ [130,131]. В проверке адекватности модели в задачах геомеханики на прочность, жесткость и устойчивость принимаются допущения, связанные со свойствами материалов и с деформацией тела, применяемые в сопротивлении материалов [132], что показало их адекватность и возможность их практического использования в геомеханике [133].

Для автоматизации инженерных расчетов и анализа их результатов, существует большое количество систем автоматизированного проектирования – Computer-aided Design (CAD), использующихся обычно совместно с системами, которые позволяют выполнять задачи моделирования процессов – Computer-aided Engineering (CAE). В частности, среди CAD наиболее распространенными являются КОМПАС, Autocad, Mathcad; среди CAE: Ansys, ЛИРА, PLAXIS, SolidWorks Simulation.

Путем анализа CAE и CAD программных комплексов, были выбраны две системы для расчета напряжений и деформаций это: MathCAD, SolidWorks Simulation [134-137].

### 2.2.1 Методика аналитических исследований

При решении поставленной задачи определения смещений пород почвы  $U_{\text{п}}$  при наличии в ней прочного слоя для каждого типа текстур в качестве основных факторов используются : ширина выработки  $B$ , предела прочности прочного слоя на одноосное сжатие  $\sigma_{\text{сж}}^{\text{п}}$ , толщина прочного слоя  $m_{\text{пр}}$ , глубина залегания прочного слоя от подошвы выработки  $h_{\text{пр}}$ .

Решение осуществлялось в несколько этапов:

- разработка расчетного алгоритма, необходимого для численного решения в MathCAD;
- разработка расчетной модели для программного комплекса SolidWorks Simulation.

*Разработка расчетного алгоритма для численного решения в MathCAD*

Задача рассматривалась с помощью методов теории упругости. Слои пород почвы можно представить, как балку, лежащую на упругом основании, под действием горизонтальных сжимающих сил, которые обусловлены действующими в породном массиве напряжениями [138].

В данной работе слой пород почвы в выработке, изображённый на рисунке 2.3, рассматривается, как короткая балка на упругом основании длина, которой равна ширине выработки  $B$ , с толщиной слоя  $m_{np}$ , и шириной  $b=0,5$  м, равной шагу установки крепи.

Нагрузку, действующую горизонтально вдоль оси балки, приложенную к торцам балки предполагаем, как равнодействующую горизонтальных напряжений равных  $\sigma_r$ , действующих на торцы балки, со сторон 1 и 1' окружающего породного массива (см. рис. 2.3а).

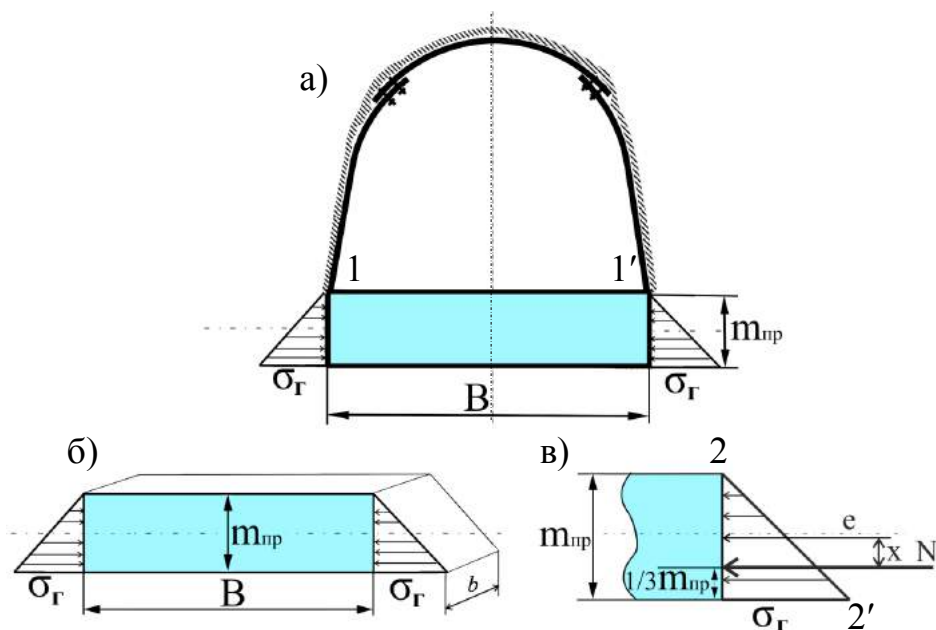


Рис. 2.3. Расчетная схема для определения прогиба слоя пород почвы в выработке (а), по напряжениям, действующим на балку (б) и на ее торцах (в)

В торцевых точках 2 и 2' балки в зоне выработки, горизонтальные сжимающие напряжения, из-за повышенной концентрации и последующего разрушения пород, падают до нуля, увеличиваясь вглубь массива по закону близкому к линейному, поэтому распределение горизонтальных напряжений на торцах балки принято по линейному закону (см. рис. 2.3в). Горизонтальные

напряжения, действующие в нижних точках слоя края выработки, принимаем максимальные, т.е. равные пределу прочности пород на одноосное сжатие  $\sigma_{\Gamma} = \sigma_{\text{сж}}^{\text{п}}$ . Равнодействующая горизонтальных напряжений  $N$  приложена с эксцентриситетом  $e = h/6$ .

Таким образом, принята самая неблагоприятная схема разрушения пород в угловых точках выработки и распределения напряжения в зоне разрушения. Предполагается, что разрушение пород распространяется от контура выработки вглубь массива лишь на величину зоны неупругих деформаций.

Расчетная схема нагрузок на балку постоянного сечения на упругом основании, нагруженной произвольной нагрузкой представлена на рисунке 2.4.

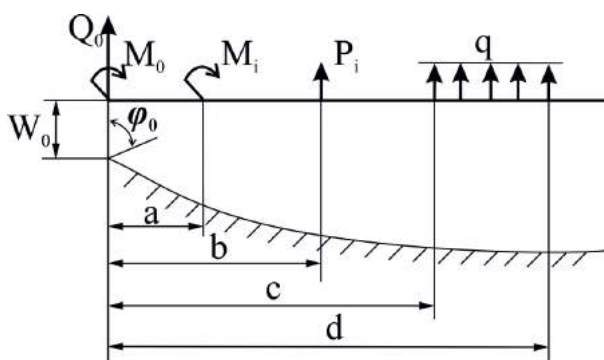


Рис. 2.4. Балка на упругом основании под действием произвольных нагрузок в начале координат: прогиб –  $W_0$ , угол поворота сечения –  $\varphi_0$ , момент –  $M_0$ , поперечная сила –  $Q_0$ ;  $a, b, c, d$  - расстояние оси рассматриваемого сечения точки приложенного до действующих: моментов –  $M_i$ , сил –  $P_i$ , начала и конца распределительной нагрузки –  $q$ .

Расчет балки на упругом основании рассматривался по гипотезе Фусса-Винклера [139], заключающийся в том, что между реакцией (отпором) со стороны основания и прогибом существует линейная зависимость.

Определение величины прогибов породной балки определяется связью между прочным слоем с нижележащими слоями почвы, характеризуемое коэффициентом постели  $k$ , который по натурным данным, может изменяться в широких пределах от  $\approx(1 \div 5) \times 10^6 \text{ Н/м}^2$  для разрушенных трещиноватых пород до  $\approx(3 \div 5) \times 10^7 \text{ Н/м}^2$  для плотных оснований [140].

Реакция со стороны основания принимается пропорциональной прогибу балки:

$$r = -KW, \quad (2.3)$$

где

$$K = kb, \quad (2.4)$$

$W$  – прогиб основания, м

$k$  – коэффициент постели, Н/м<sup>2</sup>

$b$  – ширина выработки, м.

Суммарная интенсивность распределения нагрузки:

$$P = -KW + q \quad (2.5)$$

где  $q$  – заданная распределенная нагрузка, приложенная к балке, Н/м.

Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки:

$$\frac{d^2W}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (2.6)$$

где  $E$  – модуль упругости материала балки, Н/м<sup>2</sup>;

$I$  – осевой момент инерции сечения балки, м<sup>4</sup>;

Дифференцируя два раза уравнение (2.6), получаем:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left[ EI \frac{d^2W}{dx^2} \right] = P \quad (2.7)$$

Для балки постоянного сечения ( $EI = const$ ) получаем уравнение с учетом  $P$ :

$$\frac{d^4W}{dx^4} + \frac{KW}{EI} = \frac{q}{EI} \quad (2.8)$$

Вводим обозначения:

$$\frac{K}{EI} = 4\beta^4, \quad \beta = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}} \quad (2.9)$$

Тогда дифференциальное уравнение (2.8) принимает вид:

$$\frac{d^4W}{dx^4} + 4\beta^4W = q \quad (2.10)$$

Используем метод начальных параметров [139] получаем уравнение прогибов:

$$\begin{aligned}
 W = & W_0 V_1(\beta x) + \frac{1}{\beta} I_0 V_2(\beta x) + \frac{1}{\beta^2 EI} M_0 V_3(\beta x) + \\
 & + \frac{1}{\beta^3 EI} Q_0 V_4(\beta x) + \sum \frac{M_0 V_3[\beta(x-a)]}{\beta^2 EI} + \sum \frac{P}{\beta^3 EI} V_4[\beta(x-b)] + \\
 & + \frac{q}{4\beta^4 EI} \{[1 - V_1(b(x-c))] - [1 - V_1(b(x-d))]\};
 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Уравнение углов поворота сечений:

$$\begin{aligned}
 \varphi = & -4\beta V_4(\beta x) W_0 V_1(\beta x) + \frac{M_0}{\beta EI} V_2(\beta x) + \frac{1}{\beta^2 EI} Q_0 V_3(\beta x) + \\
 & + \sum \frac{M}{\beta EI} V_2(\beta(x-a)) + \sum \frac{P}{\beta^2 EI} V_3[\beta(x-b)] + \\
 & + \frac{q}{\beta^3 EI} [V_4(b(x-c)) - V_4(b(x-d))];
 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Уравнение изгибающих моментов:

$$\begin{aligned}
 M = & -4\beta^2 EI W_0 V_3(\beta x) \pm 4\beta EI \varphi_0 V_4(\beta x) + M_0 V_1(\beta x) + \\
 & + \frac{Q_0}{\beta} V_2(\beta x) \sum M_i V_1(\beta(x-a)) + \sum \frac{P_i}{\beta} V_2[\beta(x-b)] + \\
 & + \frac{q}{\beta^2} [V_3(b(x-c)) - V_3(b(x-d))];
 \end{aligned} \quad (2.13)$$

Уравнение поперечных сил:

$$\begin{aligned}
 Q = & -4\beta^3 EI W_0 V_2(\beta x) - 4\beta^2 EI \varphi_0 V_3(\beta x) - 4\beta M_0 V_4(\beta x) + \\
 & + Q_0 V_1(\beta x) - 4\beta \sum M_i V_4(\beta(x-a)) + \sum P_i V_1[\beta(x-b)] + \\
 & + \frac{q}{\beta} [V_2(b(x-c)) - V_2(b(x-d))];
 \end{aligned} \quad (2.14)$$

где  $W_0, \varphi_0, M_0, Q_0, M_i, P_i, q$  – соответственно прогиб, угол поворота сечения, момент и поперечная сила в начале координат и моменты силы, интенсивность распределения нагрузки действующей на балку;

$(x - a); (x - b); (x - c); (x - d)$  – расстояние оси рассматриваемого сечения точки приложенного момента  $a$ , силы  $b$ , начала  $c$  и конца  $d$  распределенной нагрузки, м;

$V_1(x), V_2(x), V_3(x), V_4(x)$  - функции А.Н. Крылова.

Таким образом, расчётную схему слоя пород можно представить, как короткую балку с шарнирными опорами на упругом винклеровском основании (рис. 2.5), нагруженную моментами равными:

$$M = Ne = \frac{1}{2} \sigma_{сж}^n m_{пр} b \frac{m_{пр}}{6} = \frac{\sigma_{сж}^n m_{пр}^2 b}{12} \quad (2.15)$$

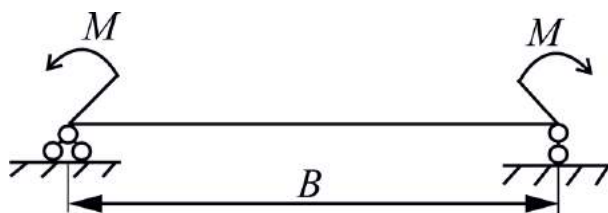


Рис. 2.5. Расчётная схема породной балки на упругом основании

Из граничных условий при  $x=0$  прогиб в начале координат, который находится на левой оси равен нулю  $W_0 = 0$ ; момент  $M_0 = -M$ ; на правой оси при  $x = l$  прогиб равен нулю  $W = 0$ , момент равен  $M = -M$ .

Используя уравнения (2.11-2.14) определяем начальные параметры: углы поворота в начале координат  $\varphi_0$  и поперечную силу  $Q_0$  и получаем уравнение для определения перемещений и внутренних силовых факторов.

Обозначим через  $W_n(x)$  и  $M_n(x)$  изгиб и изгибающий момент в произвольном сечении стержня оси действия только поперечной нагрузки.

После приложения к концам балки продольной силы  $N$ , прогибы и моменты получают значения:

$$W = W_n + \Delta W; M = M_n + \Delta M = M_n + NW \quad (2.16)$$

Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки:

$$\frac{d^2 W}{dx^2} = -\frac{M_n}{EI} - \frac{NW}{EI} \quad (2.17)$$

Или с учетом (2.16):

$$\frac{d^2 W_n}{dx^2} + \frac{d^2(\Delta W)}{dx^2} = -\frac{M_n}{EI} - \frac{NW}{EI} \quad (2.18)$$

При действии только поперечной нагрузки справедливо уравнение:

$$\frac{d^2 W_n}{dx^2} = -\frac{M_n}{EI} \quad (2.19)$$

С учетом этого уравнения (2.19) примет вид:

$$\frac{d^2(\Delta W)}{dx^2} = -\frac{NW}{EI} \quad (2.20)$$

При решении этого уравнения можно задаться некоторым уравнением прогиба  $\Delta W$ , удовлетворяющим граничным условиям, при этом прогибы на концах балки равны нулю, тогда при действии поперечной нагрузки в одну сторону можно принять:

$$\Delta W = f \sin \frac{\pi x}{l}, \quad (2.21)$$

Дифференцируя уравнение (2.21) найдем:

$$\frac{d^2(\Delta W)}{dx^2} = -f \frac{\pi^2}{l^2} \sin \frac{\pi x}{l} = -\frac{\pi^2}{l^2} \Delta W = -\frac{\pi^2}{l^2} (W - W_n)$$

$$\frac{\pi^2}{l^2} (W - W_n) = \frac{NW}{EI}$$

$$\frac{\pi^2 EI}{l^2} (W - W_n) = NW$$

где  $N_3 = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$  – Эйрелова сила

$$N_3 W - N_3 W_n = NW$$

$$W - W_n = \frac{N}{N_3} W$$

$$W \left(1 - \frac{N}{N_3}\right) = W_n$$

Таким образом выражение для точного изгиба:

$$W = \frac{W_n}{1 - \frac{N}{N_э}} \quad (2.22)$$

Для различных способов закрепления балки критическая сила определяется по формуле:

$$N_э = \frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2} \quad (2.23)$$

где  $\mu$  – коэффициент приведения длины.

С помощью MathCAD осуществлялось решение вышеприведённых уравнений (2.11-2.14) и построение графиков зависимостей прогибов породной балки по функции  $W(\sigma_{сж}^п, m_{пр}, E, k, B)$  от таких влияющих факторов, как: толщина балки  $m_{пр}$ , длина балки  $B$ , коэффициента постели  $k$ , а также постоянные значения  $\sigma_{сж}^п$  и  $E_{ср}$  для пород представленных в Донецко-Макеевском районе Донбасса (табл. А.2 Приложение А), из данных источника [140], которые сведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3.

Показатели механических параметров пород в расчете

Порода	Обозначение	$\sigma_{сж}^{ср}$ , МПа (принятое $\sigma_{сж}^п$ )	Модуль Юнга $E \times 10^{-4}$ , МПа (принятое $E_{ср}$ )
Аргиллит	АР	39,8 (40)	0,63÷2,53 (1,58)
Алевролит	АЛ	58,1 (60)	1,98÷3,74 (2,86)
Песчаник	П	83,7 (80)	2,81÷4,25 (3,53)
Известняк	И	121,3 (120)	3,58÷4,83 (4,21)



### *Разработка расчетной модели для SolidWorks Simulation*

В зависимости от горно-геологических условий и характера поставленной задачи породы почвы выработки могут рассматриваться как геометрически неограниченное, ограниченное или частично ограниченное тело.

В предложенной расчетной схеме использовались следующие допущения:

- влиянием каких-либо краевых частей массива можно пренебречь, считая выбранную область одинаково нагруженной сверху и снизу. При достаточно большом значении отношения глубины к вертикальному размеру области массива такое допущение вносит в решение задачи погрешность, которой можно пренебречь;

- деформирование почвы рассматривается как совокупность деформаций в её текстуре отдельных слоев;

- величины смещений нижнего слоя в направлении перпендикулярном и параллельном слоистости принимаются равными нулю;

- в каждом слое при изгибе возникают нулевые смещения, расположенные вблизи нижнего контакта слоя;

- при складкообразовании слои плотно ложатся друг на друга, функция нормальных составляющих вектора смещений является непрерывной;

- функции горизонтальных смещений и горизонтальных деформаций (в направлении напластования) непрерывны только в пределах слоя, деформирующегося без расслоений по внутренним контактам напластований.

Первое из этих допущений соответствует идеализированному случаю, когда рассматриваемая в задаче область массива с вертикальной составляющей начального поля напряжений меньше  $P < \sigma_{сж}$ , где  $P$  для средней глубины разработки Донбасса  $H_p = 1000$  м составляет:

$$P = \gamma_m H_p = 2,67 \cdot 10^4 \times 1000 = 26,7 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 \approx 27 \text{ МПа} \quad (2.24)$$

где  $\gamma_m$  – объемный вес породного массива,  $\text{Н/м}^3$ ;

$H_p$  – глубина разработки, м.

Для установления зависимости величины деформирования почвы выработки  $U$  от прочности  $\sigma_{сж}^n$ , толщины  $m_{пр}$  и глубины  $h_{пр}$  залегания прочного слоя от контура почвы, расчет был выполнен с использованием численных методов в программном комплексе SolidWorks Simulation. Задача решалась в упругой постановке при наличии линейной зависимости между деформациями и напряжениями.

В качестве расчетной схемы использовалась модель с размерами, изображёнными на рисунке 2.6.

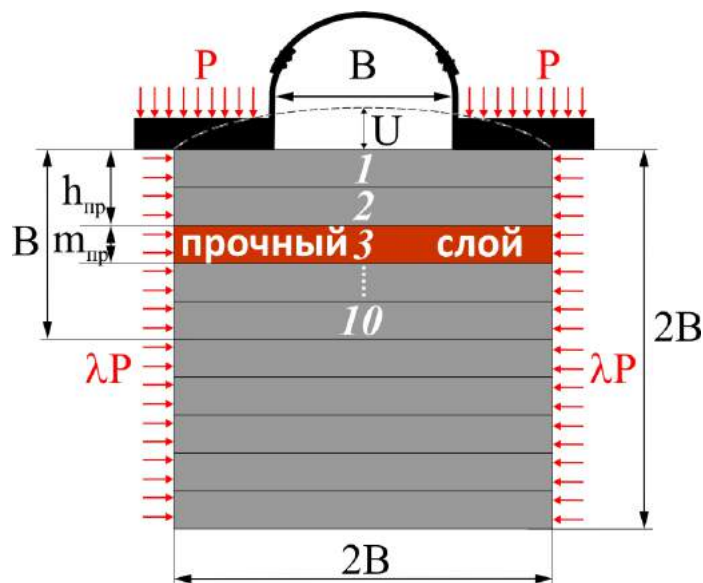


Рис. 2.6. Расчетная схема модели для определения деформирования пород с прочным слоем в программном комплексе SolidWorks: 1-10 – номер положения слоя,  $B$  – ширина выработки,  $h_{пр}=(0,1\div 0,9)B$  – вариация глубины расположения прочного слоя от контура выработки,  $m_{пр}=(0,1\div 0,9)B$  – вариации толщины прочного слоя,  $U$  – вертикальные смещения почвы по центру выработки,  $P$  – величина вертикальной нагрузки;  $\lambda=0,5$  – коэффициент бокового распора

Три типа текстур пород почвы  $k_R^I$ ,  $k_R^{II}$ ,  $k_R^{III}$  (см. табл. 2.2) моделировались характерными породами Донецко-Макеевского района Донбасса (см. табл. 2.3) с дополнительными механическими параметрами, взятыми из [140] для модели SolidWorks Simulation, которые приведены в таблице 2.4.

Для двухфакторного эксперимента определяемая функциональная зависимость будет иметь вид:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2 \quad (2.25)$$

Принятые породы для трёх типов текстур почвы в модели SolidWorks Simulation

Типы слабого и прочного слоёв пород почвы	Прочность на одноосное сжатие, $\sigma_{сж}$ , МПа	Прочность на одноосное растяжение, $\sigma_p$ , МПа	Удельная плотность, $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Модуль Юнга $E \times 10^{-4}$ , МПа	Коэффициент Пуассона, $\nu$
I тип $k_R^I$					
Аргиллит	40	5	2450	1,58	0,28
Алевролит	60	8	2530	2,86	0,21
II тип $k_R^{II}$					
Аргиллит	40	5	2450	1,58	0,28
Песчаник	80	12	2480	3,53	0,19
III тип $k_R^{III}$					
Аргиллит	40	5	2450	1,58	0,28
Известняк	120	11	2640	4,21	0,17

Таблица матрицы планирования эксперимента на двух уровнях, представлена в таблице 2.5. Числом опытов  $N=2^2=4$ , а для каждого типа текстур  $3 \times N=12$ .

Таблица 2.5.

#### Влияющие факторы эксперимента

Коэффициенты	Факторы		Параметр $\hat{y}=U_{п}^{***}$
	$x_1 = h_{пр}^*$	$x_2 = m_{пр}^{**}$	
$b_0$	-	-	$y_1$
$b_1$	+	-	$y_2$
$b_2$	-	+	$y_3$
$b_3$	+	+	$y_4$

\*  $h_{пр}$  – глубина расположения прочного слоя от контура выработки;

\*\*  $m_{пр}$  – толщина прочного слоя;

\*\*\*  $U_{п}$  – измеряемые смещения по центру от контура почвы.

Таким образом, для трех типов текстур в модели почвы принимались условия с 8-ю вариациями толщины  $m_{\text{пр}}$  прочного слоя от 0,1В до 0,9В, причем для каждой толщины задавалось 8 вариаций глубины залегания  $h_{\text{пр}}$  прочного слоя от 0,1В до 0,9В с шагом 0,1 м.

При помощи инструмента «зондирование» в SolidWorks [137] определялись максимальные значения деформирования почвы  $U$  по центру модели (см. рис. 2.6) и анализировались в безразмерном виде с помощью коэффициента влияния прочного слоя  $k_U$  по формуле:

$$k_U = \frac{U_o - U_{\text{пр}}}{U_o} \quad (2.26)$$

где  $U_o$  – смещения пород почвы без прочного слоя, м;

$U_{\text{пр}}$  – смещения пород почвы с прочным слоем, м.

Влияние прочного слоя при наличии его в породах почвы величиной  $k_U$  анализировалось графиками зависимостей  $k_U$  от толщины  $m_{\text{пр}}$  и глубины залегания  $h_{\text{пр}}$  прочного слоя от поверхности для трех типов текстур пород почвы  $k_{\text{R}}^I$ ,  $k_{\text{R}}^{II}$ ,  $k_{\text{R}}^{III}$ .

## 2.2.2 Результаты аналитических исследований

Представлены результаты полученных решений и их анализ для:

- численного решения в MathCAD;
- расчетной модели для программного комплекса SolidWorks Simulation.

### *Результаты расчетного алгоритма численного решения в MathCAD*

Для балки на упругом основании по формуле (2.11) с помощью, разработанной в MathCAD программы (рисунок В.1 Приложение В), были выполнены расчеты, по которым строились графики зависимостей соотношения прогибов от длины балки  $l$ , её толщины  $m_{\text{пр}}$ , коэффициента постели  $k$  для слабых  $\sigma_{\text{сж}}^{\text{сл}}$  и прочных  $\sigma_{\text{сж}}^{\text{п}}$  пород, определяемые из выражения:

$$W = \frac{W_{\text{сл}}(\sigma_{\text{сж}}^{\text{сл}}, m_{\text{пр}}, k, l)}{W_{\text{п}}(\sigma_{\text{сж}}^{\text{п}}, m_{\text{пр}}, k, l)} \quad (2.27)$$

где  $W_{\text{сл}}$  – функция прогибов породной балки слабого слоя, м;  
 $W_{\text{п}}$  – функция прогибов породной балки прочного слоя, м.

Численное решение соотношений прогибов  $W$  анализировалось по графикам, показанных на рисунках В.2-В.5 Приложения В.

Для анализа функции прогибов породной балки, были приняты следующие значения:

– для каждого типа пород АР/АЛ/П/И значения  $\sigma_{\text{сж}}^{\text{п}}$  и  $E_{\text{ср}}$ , взяты из табл. 2.3;  
 – значения величин  $\sigma_{\text{сж}}^{\text{сл}}$ ,  $\sigma_{\text{сж}}^{\text{п}}$ ,  $m_{\text{пр}}$ ,  $k$ ,  $l$  приравнивались константе наиболее характерных значений поочередно;

– исследуемые параметры:  $\sigma_{\text{сж}}^{\text{сл}}$ ,  $\sigma_{\text{сж}}^{\text{п}}$ ,  $m_{\text{пр}}$ ,  $k$ ,  $l$  варьировались в заданных пределах с последующей их интерпретацией значений по соотношению  $W$ :

$W \approx 1$  – значения соотношения  $W_{\text{сл}}$  и  $W_{\text{п}}$  приблизительно одинаковы, следовательно, влияние параметров не существенно;

$W = 0,5$  – значения соотношений  $W_{\text{сл}}$  и  $W_{\text{п}}$  отличаются в 2 раза;

$W \rightarrow 0$  – наблюдается наибольшее различие влияния параметров на соотношения  $W_{\text{сл}}$  и  $W_{\text{п}}$ .

В Приложении В на рисунке В.2 показаны графики соотношения  $W$  по длине балки ( $l=B$ ) в каждой её точке по оси  $x$  от значений  $\sigma_{\text{сж}}^{\text{п}}$  ( $W_1(\text{АР})$  для породной балки с характеристиками аргиллита,  $W_2(\text{АЛ})$  – алевролита,  $W_3(\text{П})$  – песчаника,  $W_4(\text{И})$  – известняка) при различных значениях толщины ( $m_{\text{пр}}=0,05B$  (рис. В.2а),  $m_{\text{пр}}=0,1B$  (рис. В.2б),  $m_{\text{пр}}=0,15B$  (рис. В.2в),  $m_{\text{пр}}=0,2B$  (рис. В.2г)), причем  $k$  и  $l$  – постоянные величины. Как видно из графиков на рисунке В.2а, по координате  $x=0,5B$ , что соответствует центру балки длиной  $l=B$ , влияние рассматриваемых типов пород АР/АЛ/П/И с толщиной  $m_{\text{пр}}=0,05B$  не существенно и составляет:  $W_4(\text{И})=1$ ,  $W_3(\text{П})=1$ ,  $W_2(\text{АЛ})=1$ ,  $W_1(\text{АР})=1$ . По краям балки (координата  $x=0,1B$ ) величины соотношений для типов пород составляют:  $W_4(\text{И})=0,8$ ;  $W_3(\text{П})=0,83$ ;  $W_2(\text{АЛ})=0,86$ ;  $W_1(\text{АР})=0,88$ .

Как видно на графике рисунка В.2б величина соотношений прогибов на координате  $x=0,5B$  (центр выработки) при толщине балки  $m_{пр}=0,1B$  для различных типов пород составит:  $W_4(И)=0,96$ ;  $W_3(П)=1$ ,  $W_2(АЛ)=1$ ,  $W_1(АР)=1$ . При этом минимальные значения соотношения прогибов наблюдаются по краям балки, что соответствует координате  $x=0,12B$ , а максимальные:  $W_4(И)=0,72$ ;  $W_3(П)=0,75$ ;  $W_2(АЛ)=0,77$ ;  $W_1(АР)=0,78$  – по центру балки. При толщине балки  $m_{пр}=0,15B$  (рис. В.2в) величины соотношений по центру выработки ( $x=0,5B$ ) составят:  $W_4(И)=0,75$ ;  $W_3(П)=0,87$ ;  $W_2(АЛ)=0,94$ ;  $W_1(АР)=1$ . Минимальные значения соотношений прогибов по краям балки (координата  $x=0,15B$ ) составят:  $W_4(И)=0,66$ ;  $W_3(П)=0,7$ ;  $W_2(АЛ)=0,72$ ;  $W_1(АР)=0,71$ . При толщине балки  $m_{пр}=0,2B$  (рис. В.2г) по центру выработки ( $x=0,5B$ ) величины соотношений прогибов составят:  $W_4(И)=0,51$ ;  $W_3(П)=0,7$ ;  $W_2(АЛ)=0,8$ ;  $W_1(АР)=0,9$ . При этом минимальные соотношения прогибов по краям балки ( $x=0,13B$ ) составят:  $W_4(И)=0,63$ ;  $W_3(П)=0,68$ ;  $W_2(АЛ)=0,7$ ;  $W_1(АР)=0,68$ .

На рисунке В.3 в Приложении В показаны графики зависимости соотношений прогибов ( $W$ ) от значений прочностных характеристик типов пород АР/АЛ/П/И ( $\sigma_{сж}^п$ ,  $E_{ср}$ ) по оси  $x$  от толщины балки ( $m_{пр}$ ) для фиксированных значений в точке дислокации:  $l=0,5B$  (рис. В.3а,б) и  $l=0,25B$  (рис. В.3в,г). На рис. В.3а,в показаны графики зависимости  $W$  от значений  $\sigma_{сж}^п=30\div 130$  МПа для фиксированных значений толщины балки ( $m_{пр}$ ):  $W_1(m_{пр}=0,2B)$ ,  $W_2(m_{пр}=0,15B)$ ,  $W_3(m_{пр}=0,1B)$ ,  $W_4(m_{пр}=0,05B)$ . Как видно из рис. В.3а,в величина  $W$  для каждой толщины представлена прямолинейной зависимостью от прочности породы ( $\sigma_{сж}^п$ ), причем чем больше толщина и чем ближе к центру балки ( $x=0,5B$ ), тем больше  $W$ . Так для песчаника с  $\sigma_{сж}^п=80$  МПа -  $W_1(m_{пр}=0,2B)=0,69$ ,  $W_2(m_{пр}=0,15B)=0,87$ ,  $W_3(m_{пр}=0,1B)=1$ ,  $W_4(m_{пр}=0,05B)=1$ . На рис. В.3б,г показаны зависимости соотношений прогибов  $W$  от величины  $m_{пр}=0\div 0,5B$  для значений породной балки с характеристиками, согласно табл. 2.3: аргиллита –  $W_{АР-АР'}(АР)$  показан по разрезу АР-АР' на рис. В.3а,в; алевролита –  $W_{АЛ-АЛ'}(АЛ)$  по разрезу АЛ-АЛ'; песчаника –  $W_{П-П'}(П)$  по разрезу П-П'; известняка –  $W_{И-И'}(И)$  по разрезу И-И'. На рис. В.3б,г

влияние толщины слоя  $m_{\text{пр}}$ , в зависимости от сочетания остальных факторов для каждого типа пород, приводит к увеличению величины  $W$  с её ростом. Так по центру балки при  $x=0,5B$  (рис. В.3б) при толщине слоя ( $m_{\text{пр}}=0,25B$ ) величины соотношений прогибов составят:  $W_4(\text{И})=0,3$ ;  $W_3(\text{П})=0,48$ ;  $W_2(\text{АЛ})=0,62$ ;  $W_1(\text{АР})=0,81$ . В краевой точке  $x=0,25B$  (рис. В.3г) для тех же условий получены следующие значения:  $W_4(\text{И})=0,38$ ;  $W_3(\text{П})=0,52$ ;  $W_2(\text{АЛ})=0,58$ ;  $W_1(\text{АР})=0,66$ .

На рисунке В.4 в Приложении В показаны графики зависимости соотношений прогибов  $W$  от значений длин балки ( $l$ ) в фиксированных точках дислокации  $x$ , для каждого значения толщины балки:  $m_{\text{пр}}=0,1B$  (рис. В.4а,б) и  $m_{\text{пр}}=0,2B$  (рис. В.4в,г), при постоянных значениях  $k$ ,  $\sigma_{\text{сж}}^{\text{п}}$ ,  $E_{\text{ср}}$ . Так на рис. В.4а,в показаны зависимости  $W$  для различных значений длины балки ( $l$ ) – величины  $W_1(l=1 \text{ м})$ ,  $W_2(l=2 \text{ м})$ ,  $W_3(l=4 \text{ м})$ ,  $W_4(l=6 \text{ м})$ . На рис. В.4б,г показаны зависимости  $W$  от величины  $l$ , изменяемой от 1 до 6 м. Для фиксированных значений точек дислокации  $x$  величины соотношений прогибов показаны на рис. В.4а,в:  $W_{1-1'}$  ( $x=0,2B$ ) по разрезу 1-1';  $W_{2-2'}$  ( $x=0,3B$ ) по разрезу 2-2',  $W_{3-3'}$  ( $x=0,4B$ ) по разрезу 3-3' и  $W_{4-4'}$  ( $x=0,5B$ ) по разрезу 4-4'. Изменение ширины выработки  $B$ , что соответствует изменению значения длины балки  $l$ , как видно из графиков (см. рис. В.4), приводит к увеличению соотношения прогибов  $W$ . Однако, как видно рис. В.4а,в для длин балки  $l=1 \div 2 \text{ м}$  отсутствуют прогибы по центру ( $x=0,5B$ ). При длине  $l=4 \div 6 \text{ м}$  в центральной части прогибы существенно увеличиваются, причем, чем больше толщина балки ( $m_{\text{пр}}=0,1 \div 0,2B$ ), тем меньше ее прогибы по центру. Для центральных ( $x=0,4 \div 0,5B$ ) и краевых частей балки ( $x=0,2 \div 0,3B$ ) с увеличением ширины выработки ( $B$ ) от 1 до 6 м увеличивается прогиб породного слоя при постоянном значении остальных параметров ( $k$ ,  $\sigma_{\text{сж}}^{\text{п}}$ ,  $E_{\text{ср}}$ ). В средней части выработки, как видно из графиков (см. рис. В.4б,г), породная балка под действием внешней нагрузки находится в предельно-напряженном состоянии. С увеличением толщины балки в 2 раза величины соотношений прогибов снижаются в 1,6-1,9 раза (см. рис. В.4б и В.4г), при этом в краевых частях балки снижение величины  $W$  не существенно.

На рисунке В.5 Приложения В изображены графики зависимости величины соотношения прогибов  $W$  от значений коэффициентов постели  $k$  и координаты  $B$ , для каждой толщины балки:  $m_{пр}=0,05B$  (рис. В.5а,б) и  $m_{пр}=0,1B$  (рис. В.5в,г) при постоянных значениях  $l$  и  $\sigma_{сж}^n$ . Так на рис. В.5 а,в показаны зависимости  $W$  от величины  $B$  при фиксированных значениях  $k$ :  $W_1(k=1 \times 10^7 \text{ Н/м}^2)$ ,  $W_2(k=2 \times 10^7 \text{ Н/м}^2)$ ,  $W_3(k=4 \times 10^7 \text{ Н/м}^2)$ ,  $W_4(k=6 \times 10^7 \text{ Н/м}^2)$ . Для фиксированных значений точек дислокации  $x=0,06B$ ;  $0,13B$ ;  $0,25B$ ;  $0,5B$  соотношения прогибов от величины  $k$ , изменяемой в пределах  $(0 \div 10) \times 10^7 \text{ Н/м}^2$ , показаны на рис. В.5б,г:  $W_{1-1'}$  ( $x=0,06B$ ) по разрезу 1-1',  $W_{2-2'}$  ( $x=0,13B$ ) по разрезу 2-2',  $W_{3-3'}$  ( $x=0,25B$ ) по разрезу 3-3' и  $W_{4-4'}$  ( $x=0,5B$ ) по разрезу 4-4'.

Величина соотношения прогибов балки из известняка прочностью равной  $\sigma_{сж}^n = 120 \text{ МПа}$  при больших величинах коэффициента постели минимальна (рис. В.5а,в). При  $k=4 \times 10^7 \text{ Н/м}^2$  и толщине балки  $m_{пр}=0,05B$   $W_3=1$ , а при толщине балки  $m_{пр}=0,1B$   $W_3=0,96$ , тогда как при  $k=6 \times 10^7 \text{ Н/м}^2$  и толщине балки  $m_{пр}=0,05B$   $W_4=1$ , а при толщине балки  $m_{пр}=0,1B$   $W_4=0,98$ . При малых коэффициентах постели  $k=1 \times 10^7 \text{ Н/м}^2$  как видно (рис. В.5а,в) по центру балки ( $x=0,5B$ ) при толщине  $m_{пр}=0,05B$  значение для  $W_1=0,97$ , а при  $m_{пр}=0,1B$  составит  $W_1=0,42$ , тогда как при  $k=2 \times 10^7 \text{ Н/м}^2$  и толщине балки  $m_{пр}=0,1B$  значение для  $W_2=1,0$ , а при  $m_{пр}=0,05B$  составит  $W_2=0,75$ . Однако влияние коэффициента постели начиная с  $k > 3 \times 10^7 \text{ Н/м}^2$  на величину прогибов уже не существенно (рис. В.5б,г) и остается неизменным как по центру балки ( $x=0,5B$ ), так и по ее краям ( $x=0,06 \div 0,25B$ ). Так, увеличение  $k$  приводит к возрастанию величины  $W$  причем это соотношение зависит от толщины породного слоя. Чем толщина балки больше, тем сильнее влияет коэффициент постели  $k$  на величину ее прогибов.

Выполненный анализ показывает, что максимальное влияние на прогиб балки, рассматриваемой в нашем случае, как прогиб прочного слоя в разнопрочных породах почвы, будет зависеть от следующих факторов (по степени их значимости):



1. Тип пород с прочностью, изменяющейся в пределах  $\sigma_{сж}^п=40\div 60$  МПа.
2. Тип пород с прочностью, изменяющейся в пределах  $\sigma_{сж}^п$  более 60 МПа.
3. Толщина прочного слоя.
4. Ширина выработки (длина породной балки).
5. Коэффициент постели пород.

Таким образом, основными факторами, влияющими на устойчивость пород почвы горных выработок, являются: прочность и толщина слоев, что согласуется с опытом эксплуатации выемочных выработок глубоких шахт Донбасса [124-128]. Результаты влияния на устойчивость почвы такого фактора, как глубина залегания прочного слоя от подошвы выработки  $h_{пр}$  для трех типов текстур пород почвы, согласно приведенной классификации в таблице 2.2, установлены в SolidWorks Simulation.

### *Результаты расчетной модели в SolidWorks Simulation*

Результаты расчета в SolidWorks Simulation приведены в Приложении Г.

По исследуемым моделям текстур пород почвы, изображенным на рисунке Г.1, получены результаты отчета в программном комплексе SolidWorks Simulation, представленном на рисунке Г.2.

Величины деформирования пород почвы для каждого типа текстур определены в пересчете на коэффициент влияния прочного слоя  $k_U$  в программе Excel, представленные в таблицах Г.1-Г.3. Составлены уравнения регрессии, приведенные в таблицах Г.4-Г.6 для каждого типа текстур почвы, глубины залегания прочного слоя  $h_{пр}$  и его толщины  $m_{пр}$ , а также установлена степень влияния рассматриваемых параметров на коэффициенты уравнения квадратичной регрессии, показанных виде графиков на рисунках Г.3-Г.5.

Анализ результатов, осуществлялся по функциям коэффициента влияния прочного слоя  $k_U$  от глубины залегания для каждого типа текстур, представленных в таблице 2.6.

Исследуемые функции коэффициента влияния прочного слоя  $k_U$ 

Глубина залегания прочного слоя, $h_{пр}/B$	Значения коэффициента разнопрочности $k_R$ для трех типов текстур пород почвы					
	I тип $k_R^I$ $m_{пр}=(0,1÷0,9)B$		II тип $k_R^{II}$ $m_{пр}=(0,1÷0,9)B$		III тип $k_R^{III}$ $m_{пр}=(0,1÷0,9)B$	
	функция	$k_R^I=$	функция	$k_R^{II}=$	функция	$k_R^{III}=$
0,1	$k_{U_{n1}}^I = f_1^I(x)$	0,17	$k_{U_{n1}}^{II} = f_1^{II}(x)$	0,22	$k_{U_{n1}}^{III} = f_1^{III}(x)$	0,33
0,2	$k_{U_{n2}}^I = f_2^I(x)$	0,38	$k_{U_{n2}}^{II} = f_2^{II}(x)$	0,50	$k_{U_{n2}}^{III} = f_2^{III}(x)$	0,75
0,3	$k_{U_{n3}}^I = f_3^I(x)$	0,64	$k_{U_{n3}}^{II} = f_3^{II}(x)$	0,86	$k_{U_{n3}}^{III} = f_3^{III}(x)$	1,29
0,4	$k_{U_{n4}}^I = f_4^I(x)$	1,00	$k_{U_{n4}}^{II} = f_4^{II}(x)$	1,33	$k_{U_{n4}}^{III} = f_4^{III}(x)$	2,00
0,5	$k_{U_{n5}}^I = f_5^I(x)$	1,50	$k_{U_{n5}}^{II} = f_5^{II}(x)$	2,00	$k_{U_{n5}}^{III} = f_5^{III}(x)$	3,00
0,6	$k_{U_{n6}}^I = f_6^I(x)$	2,25	$k_{U_{n6}}^{II} = f_6^{II}(x)$	3,00	$k_{U_{n6}}^{III} = f_6^{III}(x)$	4,50
0,7	$k_{U_{n7}}^I = f_7^I(x)$	3,50	$k_{U_{n7}}^{II} = f_7^{II}(x)$	4,67	$k_{U_{n7}}^{III} = f_7^{III}(x)$	7,00
0,8	$k_{U_{n8}}^I = f_8^I(x)$	6,00	$k_{U_{n8}}^{II} = f_8^{II}(x)$	8,00	$k_{U_{n8}}^{III} = f_8^{III}(x)$	12,0
0,9	$k_{U_{n9}}^I = f_9^I(x)$	13,5	$k_{U_{n9}}^{II} = f_9^{II}(x)$	18,00	$k_{U_{n9}}^{III} = f_9^{III}(x)$	27,0

По полученным значениям коэффициент влияния прочного слоя  $k_U$  (см. табл. Г.1-Г.3 Приложения Г) строились графики для каждого типа текстур: I тип –  $k_{U_n}^I = f^I(m_{пр}, h_{пр})$ ; II тип –  $k_{U_n}^{II} = f^{II}(m_{пр}, h_{пр})$ ; III тип –  $k_{U_n}^{III} = f^{III}(m_{пр}, h_{пр})$  от толщины прочного слоя  $m_{пр}=(0,1÷0,9)B$  для каждой глубины его залегания  $h_{пр}=(0,1÷0,9)B$ , изображенные на рисунке 2.7, и от глубины залегания прочного слоя  $h_{пр}=(0,1÷0,9)B$  для каждой его толщины  $m_{пр}=(0,1÷0,9)B$ , изображенные на рисунке 2.8.

На основании полученных значений для каждой фиксированных величин толщины  $m_{пр}$  и глубины залегания  $h_{пр}$  прочного слоя были определены регрессионные уравнения коэффициента влияния прочного слоя  $k_U=f(m_{пр},h_{пр})$  для трех типов текстур пород почвы и определена достоверность аппроксимации (см. табл. Г.4-Г.6 Приложения Г).

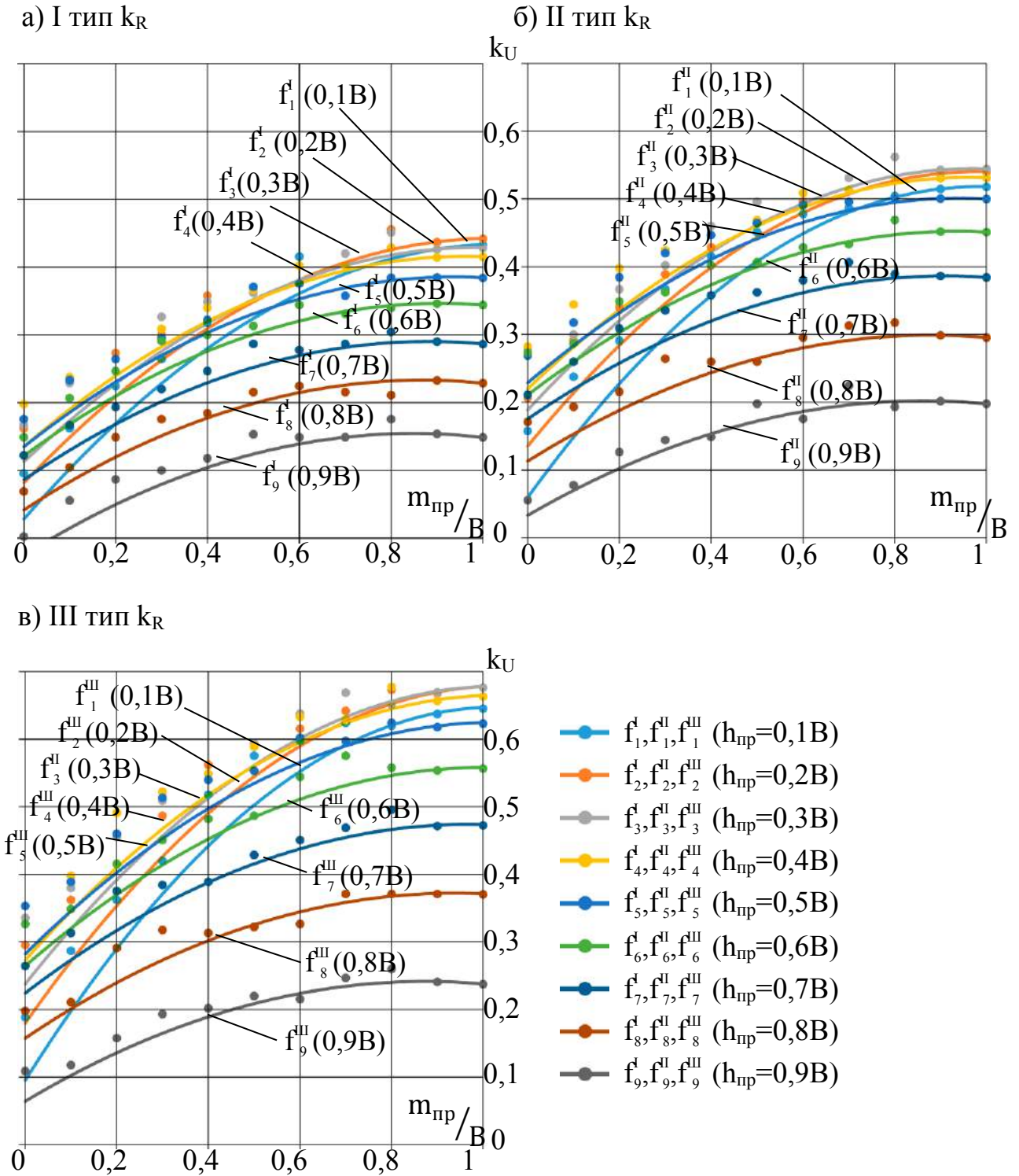


Рис. 2.7. Графики функциональных зависимостей коэффициента влияния прочного слоя  $k_U$  в текстуре пород почвы от толщины прочного слоя  $m_{pp}=0,1\div 0,9B$  для каждой глубины его залегания  $h_{pp}=0,1\div 0,9B$  для трёх типов текстур почвы: а) I тип –  $k_{U_n}^I=f^I(m_{pp}, h_{pp})$ ; б) II тип –  $k_{U_n}^{II}=f^{II}(m_{pp}, h_{pp})$ ; в) III тип –  $k_{U_n}^{III}=f^{III}(m_{pp}, h_{pp})$

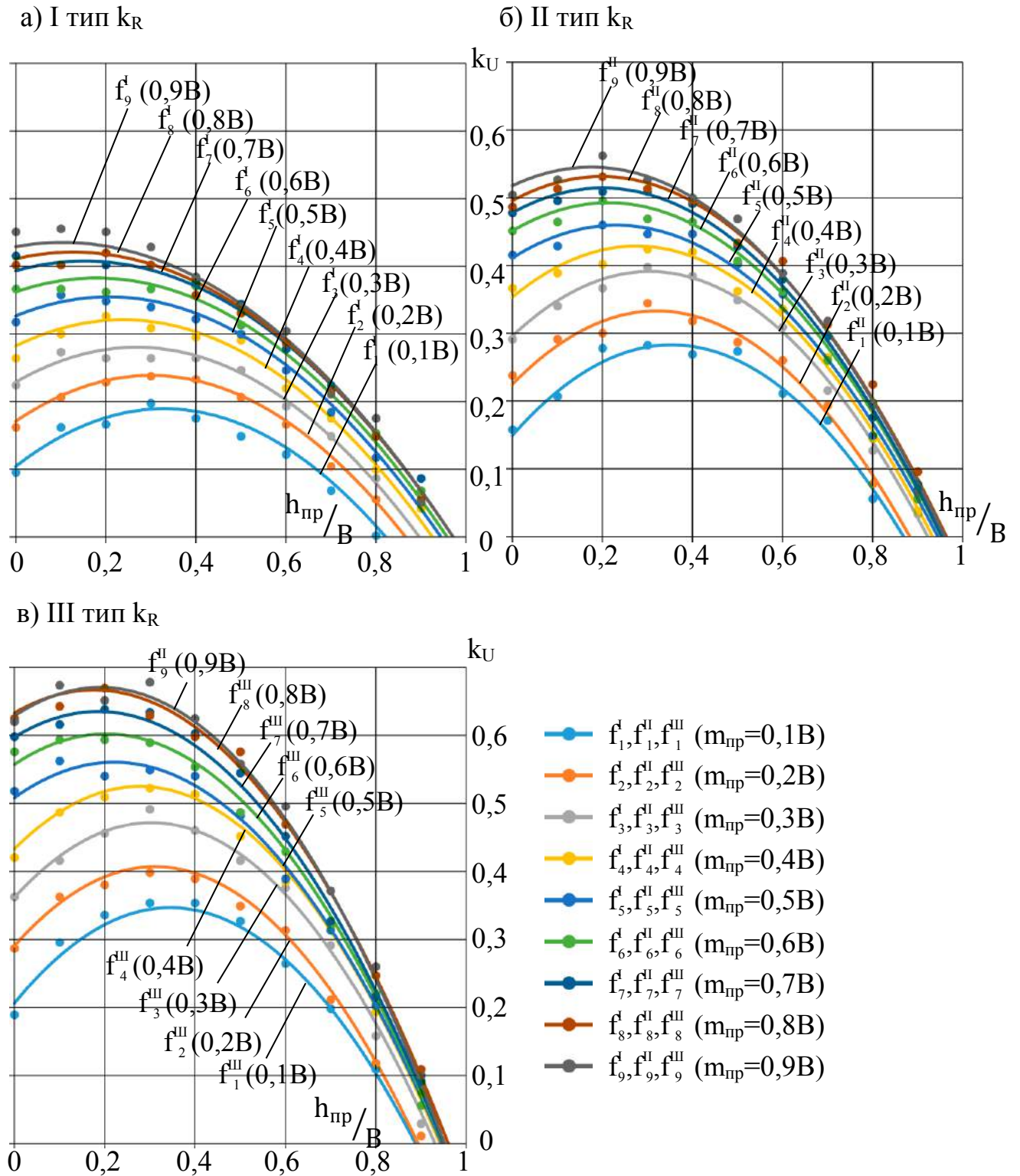


Рис. 2.8. Графики функциональных зависимостей коэффициента влияния прочного слоя  $k_U$  в текстуре пород почвы от глубины залегания прочного слоя  $h_{пр}=0,1 \div 0,9B$  для каждой его толщины  $m_{пр}=0,1 \div 0,9B$  для трёх типов текстур почвы: а) I тип –  $k_{U_{II}}^I = f^I(m_{пр}, h_{пр})$ ; б) II тип –  $k_{U_{II}}^{II} = f^{II}(m_{пр}, h_{пр})$ ; в) III тип –  $k_{U_{II}}^{III} = f^{III}(m_{пр}, h_{пр})$

Для достоверности оценки эффективности влияния прочного слоя  $k_U$  были рассчитаны значения коэффициент осцилляции  $V_R$ , показанные в виде графиков на рисунке 2.9, в зависимости от толщины прочного слоя  $m_{пр}$ , при помощи которого определялись отклонения крайних значений от средних их величин. При этом рассматривались три типа текстур пород почвы для двух выборок коэффициента осцилляции  $V_R^{0,9B}$  и  $V_R^{0,5B}$  с глубиной залегания прочного слоя  $h_{пр}$  равной от 0,1В до 0,9В (см. рис. 2.9а) и от 0,1В до 0,5В (см. рис. 2.9б) соответственно.

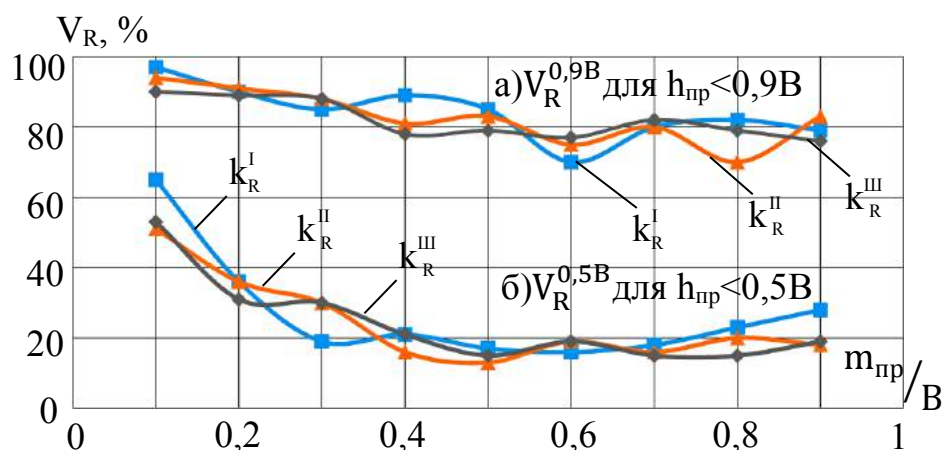


Рис. 2.9. Графики изменения значений коэффициентов осцилляции трёх типов текстур почвы:  $\blacksquare$  —  $k_R^I$  (I тип);  $\blacktriangle$  —  $k_R^{II}$  (II тип);  $\blacklozenge$  —  $k_R^{III}$  (III тип); от толщины прочного слоя  $m_{пр}=0,1\div 0,9B$  для каждой совокупности глубин расположения прочного слоя: а)  $h_{пр} < 0,9B$  —  $V_R^{0,9B}$  и б)  $h_{пр} < 0,5B$  —  $V_R^{0,5B}$

Были определены точки экстремума функций для двух переменных, приведенных в таблице 2.7, которым соответствуют оптимальные значения для каждой толщины прочного слоя при такой глубине его расположения, при которой смещения будут минимальными относительно однородного массива, который характеризуется коэффициентом влияния прочного слоя  $k_U$ .

Для удобства анализа полученных данных оптимальных значений, представленных в виде графиков на рисунке 2.10, функциональных зависимостей: коэффициента влияния прочного слоя  $k_U$  от глубины его расположения  $h_{пр}$  и коэффициента разнопрочности  $k_R$  (рис. 2.10а,б); глубины расположения прочного слоя  $h_{пр}$  от его толщины  $m_{пр}$  и коэффициента разнопрочности  $k_R$  (рис. 2.10в,г).

Таблица 2.7.

Экстремумы функций коэффициента влияния прочного слоя  $k_U=f(m_{np}, h_{np})$  от толщины  $m_{np}$  и глубины его залегания  $h_{np}$  для трёх типов текстур почвы, характеризуемым коэффициентом разнопрочности  $k_R$

Вид функции	Значен. коэф. разнопрочности $k_R$	Толщина прочного слоя, $m_{np}/B$	Опт. глубина залегания прочного слоя, $h_{np}/B$	Коэф. осцилляции, наиб. эффективности коэф. влияния прочного слоя	
				$V_R^{0,5B}, \%$	$k_U$
<b>I тип <math>k_R^I</math></b>					
$k_{U_{n1}}^I = f_1^I(m_{np}, h_{np})$	0,17	0,1	0,33	65	0,19
$k_{U_{n2}}^I = f_2^I(m_{np}, h_{np})$	0,38	0,2	0,30	36	0,24
$k_{U_{n3}}^I = f_3^I(m_{np}, h_{np})$	0,64	0,3	0,27	19	0,28
$k_{U_{n4}}^I = f_4^I(m_{np}, h_{np})$	1,00	0,4	0,24	21	0,32
$k_{U_{n5}}^I = f_5^I(m_{np}, h_{np})$	1,50	0,5	0,21	17	0,35
$k_{U_{n6}}^I = f_6^I(m_{np}, h_{np})$	2,25	0,6	0,18	16	0,38
$k_{U_{n7}}^I = f_7^I(m_{np}, h_{np})$	3,50	0,7	0,16	18	0,41
$k_{U_{n8}}^I = f_8^I(m_{np}, h_{np})$	6,00	0,8	0,13	23	0,42
$k_{U_{n9}}^I = f_9^I(m_{np}, h_{np})$	13,5	0,9	0,10	28	0,44
<b>II тип <math>k_R^{II}</math></b>					
$k_{U_{n1}}^{II} = f_1^{II}(m_{np}, h_{np})$	0,22	0,1	0,34	51	0,28
$k_{U_{n2}}^{II} = f_2^{II}(m_{np}, h_{np})$	0,50	0,2	0,31	36	0,33
$k_{U_{n3}}^{II} = f_3^{II}(m_{np}, h_{np})$	0,86	0,3	0,29	30	0,39
$k_{U_{n4}}^{II} = f_4^{II}(m_{np}, h_{np})$	1,33	0,4	0,26	16	0,43
$k_{U_{n5}}^{II} = f_5^{II}(m_{np}, h_{np})$	2,00	0,5	0,24	13	0,46
$k_{U_{n6}}^{II} = f_6^{II}(m_{np}, h_{np})$	3,00	0,6	0,21	19	0,49
$k_{U_{n7}}^{II} = f_7^{II}(m_{np}, h_{np})$	4,67	0,7	0,19	16	0,51
$k_{U_{n8}}^{II} = f_8^{II}(m_{np}, h_{np})$	8,00	0,8	0,16	20	0,53
$k_{U_{n9}}^{II} = f_9^{II}(m_{np}, h_{np})$	18,0	0,9	0,14	18	0,54
<b>III тип <math>k_R^{III}</math></b>					
$k_{U_{n1}}^{III} = f_1^{III}(m_{np}, h_{np})$	0,33	0,1	0,35	53	0,35
$k_{U_{n2}}^{III} = f_2^{III}(m_{np}, h_{np})$	0,75	0,2	0,33	31	0,41
$k_{U_{n3}}^{III} = f_3^{III}(m_{np}, h_{np})$	1,29	0,3	0,31	30	0,47
$k_{U_{n4}}^{III} = f_4^{III}(m_{np}, h_{np})$	2,00	0,4	0,29	21	0,53
$k_{U_{n5}}^{III} = f_5^{III}(m_{np}, h_{np})$	3,00	0,5	0,27	15	0,56
$k_{U_{n6}}^{III} = f_6^{III}(m_{np}, h_{np})$	4,50	0,6	0,25	19	0,60
$k_{U_{n7}}^{III} = f_7^{III}(m_{np}, h_{np})$	7,00	0,7	0,23	15	0,63
$k_{U_{n8}}^{III} = f_8^{III}(m_{np}, h_{np})$	12,0	0,8	0,21	15	0,67
$k_{U_{n9}}^{III} = f_9^{III}(m_{np}, h_{np})$	27,0	0,9	0,19	19	0,67

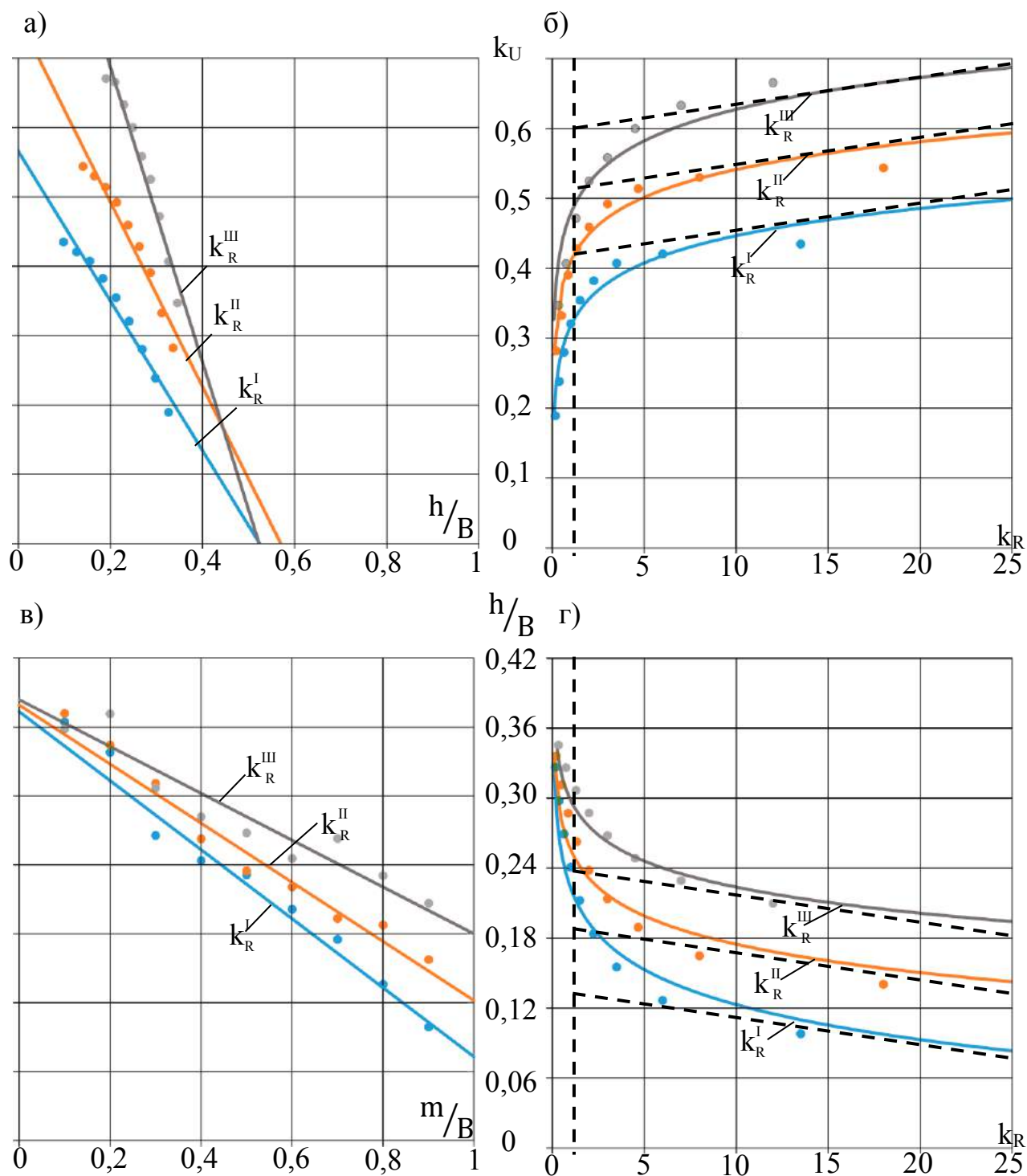


Рис. 2.10. Графики зависимостей экстремума функций  $k_U=f(m_{пр}, h_{пр})$ : а, б – коэффициента влияния прочного слоя  $k_U$ ; в, г – глубины залегания прочного слоя от почвы  $h_{пр}$ ; для трёх типов текстур почвы: ● –  $k_R^I$  (I тип); ● –  $k_R^{II}$  (II тип); ● –  $k_R^{III}$  (III тип)

Как видно из рисунков 2.7 и 2.8 деформирование пород почвы выработки при наличии в её текстуре прочного слоя происходит по полиномиальным функциональным зависимостям, в которых основными влияющими факторами являются глубина расположения прочного слоя относительно подошвы выработки  $h_{пр}$ , его толщина  $m_{пр}$  и коэффициент разнопрочности  $k_R$  для трёх типов текстур.

Анализ зависимостей (см. рис. 2.7-2.8) показывает, что:

- увеличение толщины прочного слоя до 0,5В способствует росту коэффициента влияния прочного слоя  $k_U$  и по сравнению с однородным массивом, чем выше коэффициент разнопрочности слоёв  $k_R$ , тем выше это влияние;
- прочный слой позволяет снизить смещения пород разнопрочной почвы при его залегании на глубине до 0,5В от контура почвы;
- при глубине залегания прочного слоя равной от 0,5В и более величина смещений начинает возрастать и мощность слоя не влияет на смещения почвы.

Для оценки достоверности эффективности влияния прочного слоя анализ значений коэффициента осцилляции  $V_R$  (см. рис. 2.9) показал, что до глубины 0,5В наибольший разброс его значений уменьшается с увеличением толщины прочного слоя. Это свидетельствует о том, что толщина слоя существенно влияет на устойчивость пород почвы в зависимости от коэффициента разнопрочности слоёв  $k_R$ , так, например, для  $h_{пр}=0,1В$  –  $k_U=0,09 \div 0,35$ , а для  $h_{пр}=0,9В$  –  $k_U=0,34 \div 0,67$ .

На рис. 2.10 определены точки экстремумов установленных функций, соответствующие максимальному значению эффективности влияния  $k_U$ , которые характеризуют оптимальные значения глубин залегания прочного слоя  $h_{пр}$  для каждой их мощности  $m$  при различных значениях коэффициента разнопрочности  $k_R$  в текстуре почвы.

Анализ графиков показал, что:

- активное влияние прочного слоя проявляется, начиная с глубины до 0,5В (см. рис. 2.10а) причем чем мощнее слой, тем меньше глубина влияет на смещения почвы (см. рис. 2.10в) по сравнению с однородным массивом;
- позитивное влияние прочного слоя на минимизацию смещений разнопрочной почвы в полость выработки проявляется при глубине залегания



прочного слоя в диапазоне от 0,36 до 0,50В (см. рис. 2.7) с изменением его мощности от 0,5 до 0,1В (см. рис. 2.8). При этом, чем мощнее прочный слой, тем интенсивнее уменьшаются смещения почвы;

- графики, представленные на рисунках 2.10б,г показывают, что между коэффициентом  $k_U$  и толщиной прочного слоя имеется логарифмическая зависимость. При этом, с ростом коэффициента разнопрочности  $k_R$  наблюдается снижение скорости смещений почвы (см. рис. 2.10б) и на меньшей глубине проявляется влияние прочного слоя (см. рис. 2.10г) для трех типов текстур пород почвы;

- влияние прочного слоя в разнопрочной текстуре почвы наблюдается на расстоянии не более 0,5В от контура почвы выработки при прочности слоя  $\sigma_{сж}^n > 60$  МПа (коэффициент разнопрочности слоёв  $k_R = 0,14 \div 1,70$ ) и его толщине  $m$  равной не менее 0,1В, причем, максимальное значение коэффициента влияния прочного слоя  $k_U$  для выделенных типов текстур пород наблюдалось при значениях коэффициента разнопрочности равных:

- 1) I-й тип –  $k_R^I = 0,14$  ( $m_{пр} = 0,1В$ ;  $h_{пр} = 0,33В$ )  $\div$   $k_R^I = 0,86$  ( $m_{пр} = 0,3В$ ;  $h_{пр} = 0,25В$ );
- 2) II-й тип –  $k_R^{II} = 0,22$  ( $m_{пр} = 0,1В$ ;  $h_{пр} = 0,34В$ )  $\div$   $k_R^{II} = 1,29$  ( $m_{пр} = 0,3В$ ;  $h_{пр} = 0,26В$ );
- 3) III-й тип –  $k_R^{III} = 0,33$  ( $m_{пр} = 0,1В$ ;  $h_{пр} = 0,35В$ )  $\div$   $k_R^{III} = 1,70$ ; ( $m_{пр} = 0,3В$ ;  $h_{пр} = 0,30В$ ).

Таким образом установлено, что влияние прочного слоя на устойчивость пород почвы происходит при рациональном сочетании его параметров (прочности, толщины и глубины расположения слоя от подошвы выработки).

Данные полученных результатов уточнялись в лабораторных исследованиях.

### 2.3 Лабораторные исследования

Для установления особенностей механизма деформирования пород разнопрочной почвы при наличии в ее текстуре прочного слоя были проведены лабораторные исследования на моделях из эквивалентных материалов, в которых воссоздавались физические поля аналогичные натурным с соблюдением соответствующих критериев подобия [141].

Эквивалентными являются искусственные материалы, механические характеристики которых в принятом геометрическом масштабе моделирования соответствуют горным породам. Метод моделирования на эквивалентных материалах был предложен проф. Г. Н. Кузнецовым [142,143].

Геометрическое подобие в методе эквивалентных материалов состоит в том, что все размеры пространства ( $L_H$ ), занятого системой в модели, и размеры отдельных элементов модели ( $l_M$ ) изменены в определенное число раз ( $\alpha_l$ ) по сравнению с соответствующими размерами натурального объекта:

$$\frac{L_H}{l_M} = \alpha_l \quad (2.28)$$

Условие кинематического подобия модели ( $t_M$ ) и натурального объекта ( $T_H$ ) состоит в том, что любые точки (частицы) систем, двигаясь по геометрически подобным траекториям, проходят геометрически подобные пути в промежутки времени, отличающиеся постоянным множителем ( $\alpha_t$ ):

$$\frac{T_H}{t_M} = \alpha_t \quad (2.29)$$

Условие динамического подобия модели ( $m_M$ ) и натурального объекта ( $M_H$ ) состоит в том, что массы любых подобных частиц этих систем отличаются друг от друга постоянным множителем ( $\alpha_m$ ):

$$\frac{M_H}{m_M} = \alpha_m \quad (2.30)$$

Применяя теорию размерностей и выполняя условия (2.29-2.31) переходных множителей  $\alpha_l$ ,  $\alpha_t$  и  $\alpha_m$ , механические характеристики горных пород –  $\sigma_{сж}^H$  и эквивалентных материалов –  $\sigma_{сж}^M$ , должны иметь следующие условия подобия: – процессов разрушения:

$$\sigma_{сж}^M = \frac{l_M}{L_H} \cdot \frac{\gamma_M}{\gamma_H} \cdot \sigma_{сж}^H \quad (2.31)$$

– внешних сил:

$$f_M = f_H \cdot \left(\frac{l_M}{L_H}\right)^3 \cdot \left(\frac{\gamma_M}{\gamma_H}\right) \quad (2.32)$$

– масштаба сил гравитации:

$$\alpha_t = \sqrt{\alpha_l} \quad (2.33)$$

– геометрических размеров:

$$\frac{l_M}{L_H} = \text{const}, \quad (2.34)$$

где  $l_M$  и  $L_H$  – линейные размеры объекта в модели и в натуре, м.

– действия силы:

$$N_M = \left(\frac{l_M}{L_H}\right)^3 \times \frac{\gamma_M}{\gamma_H} \times N_H, \quad (2.35)$$

где  $N_M$  и  $N_H$  – величина воздействия силы в модели и в натуре соответственно, Н;

$\gamma_M$  и  $\gamma_H$  – удельная плотность эквивалентных материалов и горных пород соответственно, Н/м<sup>3</sup>.

– действия давления:

$$P_M = \frac{l_M}{L_H} \times \frac{\gamma_M}{\gamma_H} \times P_H, \quad (2.36)$$

где  $P_M$  и  $P_H$  – величина давления на объект в модели и в натуре соответственно, Па.

Выбор масштаба моделирования можно разделить на два вида: с увеличением и с уменьшением размеров модели.

Для задач геомеханики необходим второй вариант. Исходя из возможности и необходимости получения геомеханических характеристик при исследовании устойчивости почвы выработки, для решения конкретной горнотехнической задачи и обеспечения представительности результатов исследований нами принимается геометрический масштаб моделирования 1:50 [144].

## 2.3.1 Методика лабораторных экспериментов

Моделирование на моделях из эквивалентных материалов выполнялось с использованием плоского стенда с внутренними рабочими размерами 76×58×16 см, изображенного на рисунке 2.11, обеспечивающими соблюдение граничных условий при выбранном масштабе моделирования 1:50.

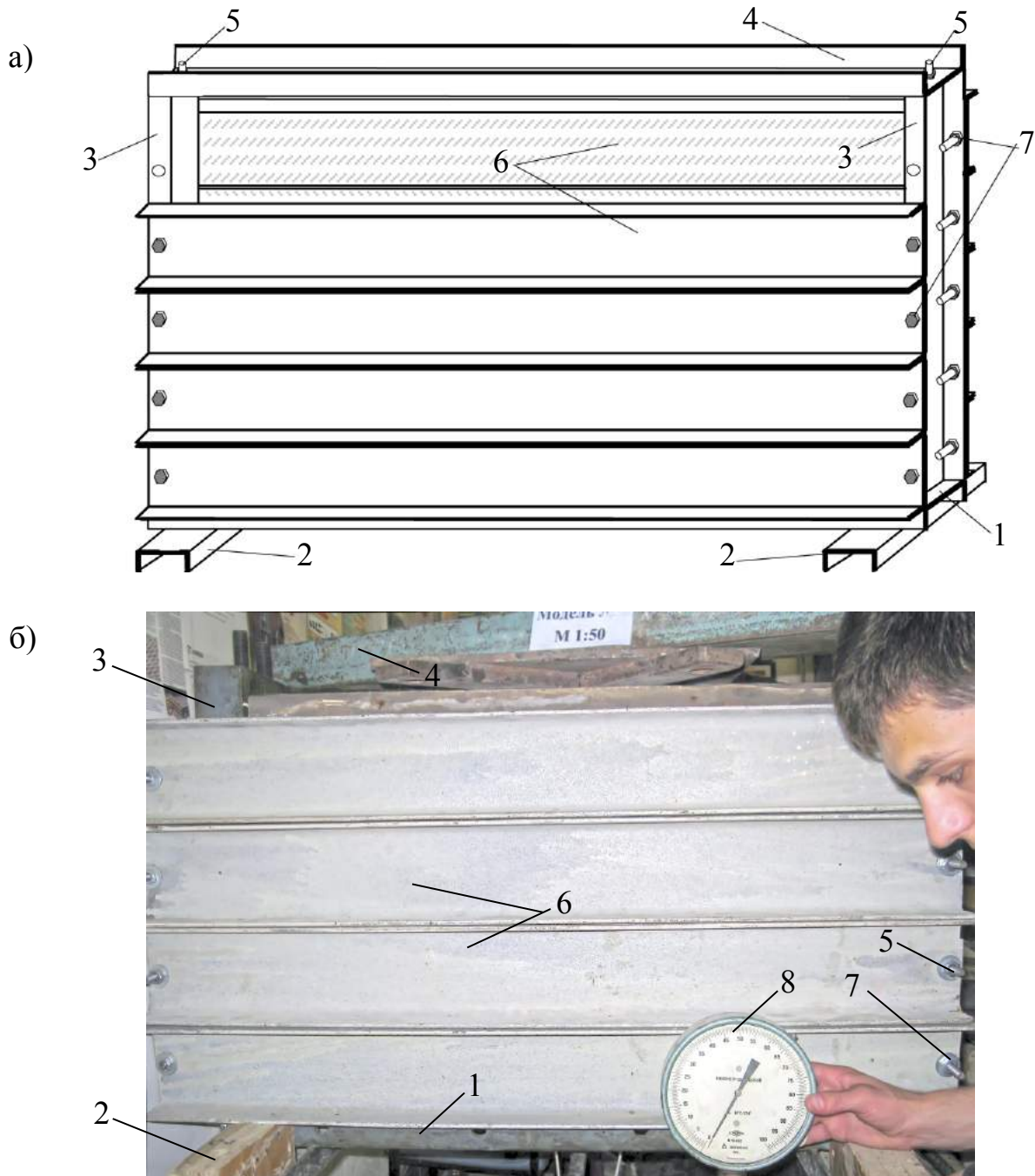


Рис. 2.11. Общий вид плоского стенда (а – схематично, б – в натуре): 1 – постель; 2 – лежень; 3 – боковая стойка; 4 – верхнее перекрытие; 5 – шпильки; 6 – опалубка (швеллер №10); 7 – гайки; 8 – манометр

В моделях на каждом этапе были закатаны слои с одинаковыми свойствами эквивалентного материала, которые соответствуют физико-механическим свойствам пород (таблица 2.3), исходя из требований механического подобия формулы (2.31), прочностные характеристики которых представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8.

Прочностные характеристики пород  $\sigma_{сж}^H$  и материала в модели  $\sigma_{сж}^M$

Наименование пород	$\sigma_{сж}^H$ , МПа	$\sigma_{сж}^M$ , МПа	$\sigma_{сж}^M$ , кгс/см <sup>2</sup>
Уголь	15	0,17	1,7
Аргиллит	40	0,25	2,5
Алевролит	60	0,41	4,1
Песчаник	80	0,54	5,4
Известняк	120	0,81	8,1

В результате испытаний была подобрана необходимая рецептура эквивалентного материала (Приложение Д, таблица Д.1), состоящая из песка, парафина и канифоли. Отвешенные, в соответствии с рецептурой навески песка нагревались в специальных шкафах до температуры  $\sim 75^\circ\text{C}$ . В зависимости от прочностных свойств материала в песок добавляли связующее – канифоль и/или парафин. Закатка производилась с разделением толщи пород в модели на отдельные слои за счет присыпки поверхности каждого слоя крупной молотой слюдой [145].

Процессы деформирования моделируемого породного массива, изучались в одиночной пластовой выработке, содержащей прочный слой в почве в модели, показанного на рисунке 2.12. Для детального изучения поведения прочного слоя, в составляющие его компоненты добавляли красители, которые не влияли на прочностные свойства слоев модели.

В модели пневматическими баллонами создавалось двухосное напряженное состояние при вертикальной и горизонтальной нагрузках, прирост которых синхронно изменялся. Коэффициент бокового давления был принят постоянным и

равным 0,5. Значения вертикального  $P_M^B$  и бокового  $P_M^6$  давлений определялись по формулам (2.24) и (2.36):

$$P_M^B = \frac{1}{50} \cdot \frac{1,5}{2,67} \cdot 27 = 0,303 \text{ МПа} \approx 3 \text{ кгс/см}^2$$

$$P_M^6 = 0,5 \cdot P_M^B = 0,152 \text{ МПа} \approx 1,5 \text{ кгс/см}^2$$

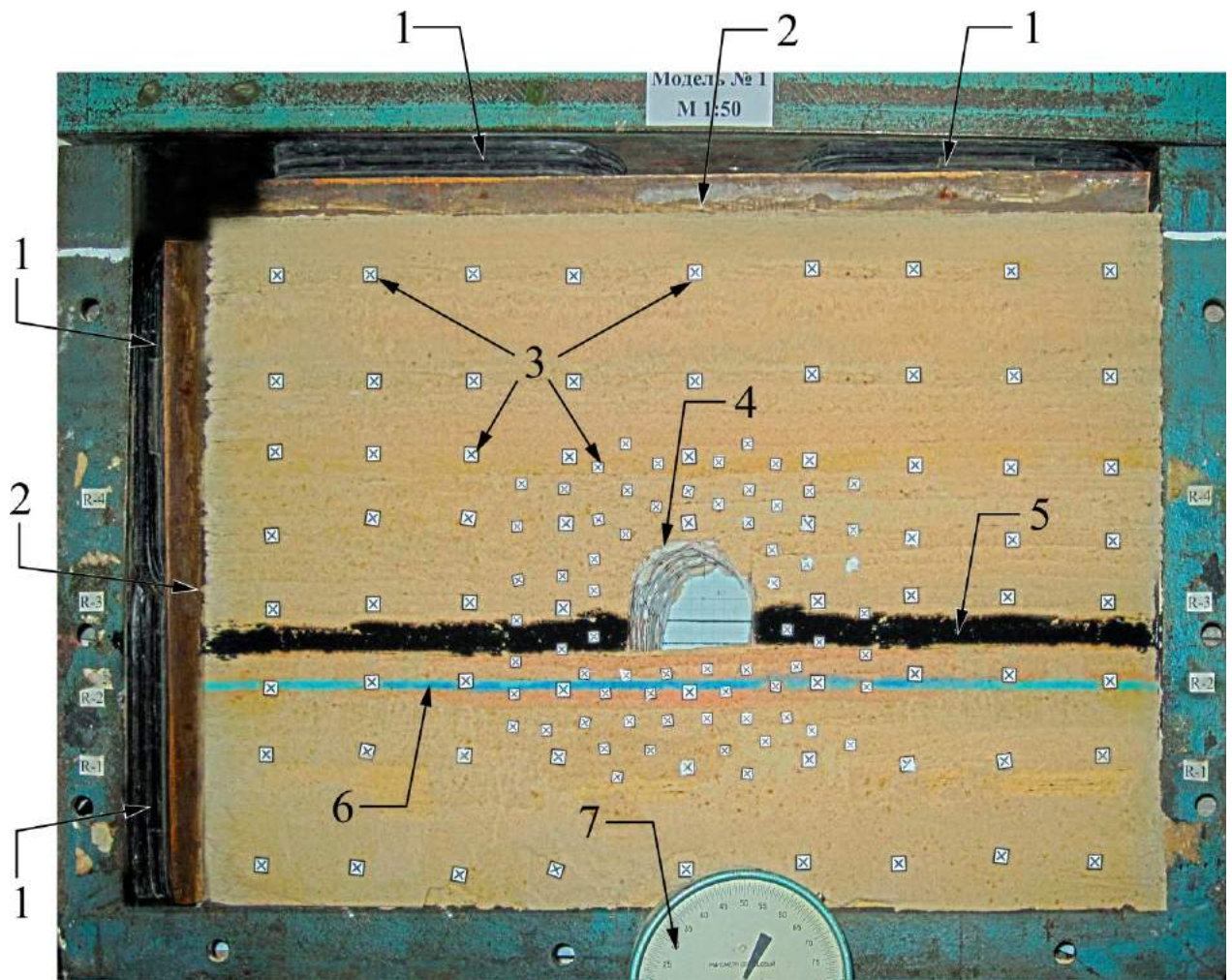


Рис. 2.12. Натурный вид моделируемого породного массива: 1 – пневматические баллоны; 2 – деревянная доска-экран между эквивалентным материалом и пневмобаллонами; 3 – реперы; 4 – арочная крепь подготовительной выработки; 5 – черным цветом выделен угольный пласт; 6 – синим цветом выделен прочный слой; 7 – манометр

При отработке моделей последовательно выполнялись 4 этапа [146]. На первом этапе производилась пригрузка модели дополнительной нагрузкой равной половине расчетного давления ( $P_M^B \approx 1,5 \text{ кгс/см}^2$ ,  $P_M^6 \approx 0,8 \text{ кгс/см}^2$ ) для устранения возможных пустот в модели. Для предотвращения разрушения модели ее пригрузка осуществлялась плавно. На втором этапе размер пригрузки был увеличен до расчетной величины. На третьем и четвертом этапах после снятия опалубки осуществлялось проведение выработки с установкой арочной крепи. Арочная крепь моделировалась конструкцией из трех элементов – верхняка и двух ножек. Элементы изготавливались из полосы латунной фольги шириной 10 мм. Замки имитировались при помощи полоски алюминиевой фольги шириной 6 мм и полоски изоляционной ленты такой же ширины. Соединение элементов крепи производилось внахлестку. В зависимости от усилий затяжки изоляционной ленты на соединении верхняка с ножками была определена податливость рамы крепи, которая начиналась при нагружении до 80% от предельной несущей способности крепи. Вдоль выработки верхняки и ножки крепи соединялись с помощью клея полосками латунной фольги шириной 4 мм, по одной на каждом элементе крепи. Затяжка крепи моделировалась полоской вощеной бумаги длиной 20 мм, шириной 5 мм и толщиной 0,8 мм.

На четвертом этапе проводились измерения величин смещений методом фотофиксации по реперам (см. рис. 2.12), которые состояли из тонкой иглы с закреплённой на конце плотной бумагой размерами 5×5 мм. Съёмка производилась после каждого этапа моделирования с помощью фотоаппарата, установленного на штативе с лицевой стороны модели.

Для обработки фотографий был использован графический редактор Photoshop, с помощью которого получали величины приращения координат по установленным реперам, путем совмещения изображений определялось расположение каждого репера относительно основания модели, а по нему - вертикальное смещение, а также производились замеры смещений верхнего контура почвы по центру выработки.

Сначала моделировалась одиночная пластовая выработка без прочного слоя в почве (модель №0). Изучалось, как развиваются в этой выработке смещения по

контур почвы в зависимости от величины нагрузки. В остальных моделях с прочным слоем в почве производились аналогичные операции.

Для решения поставленных задач исследования влияния прочного слоя в разнопрочной текстуре сравнивались результаты 12 моделей из эквивалентных материалов на основе песчано-парафино-канифолиевой смеси, типы текстур пород почвы которых представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9.

Характеристика моделей выработки с типами текстур пород почвы из эквивалентных материалов

№ модели	Ширина выработки		Прочность моделируемого, слоя в текстуре почвы		Значения $k_R$ для трех типов текстур почвы (типы пород слабого и прочного слоёв – АР/АЛ/П/И*)	Толщина прочного слоя почвы, $m_{пр}/B$	Глубина залегания прочного слоя, $h_{пр}/B$
	в натуре, м	в модели, см	в натуре, МПа	в модели, кгс/см <sup>2</sup>			
<b>I тип <math>k_R</math></b>							
1	5	10	60	4,1	$k_R^I=0,14$ (АР/АЛ)	0,1	0,1
2	5	10	60	4,1	$k_R^I=0,14$ (АР/АЛ)	0,1	0,3
3	5	10	60	4,1	$k_R^I=0,86$ (АР/АЛ)	0,3	0,1
4	5	10	60	4,1	$k_R^I=0,86$ (АР/АЛ)	0,3	0,3
<b>II тип <math>k_R</math></b>							
5	5	10	80	5,4	$k_R^{II}=0,22$ (АР/П)	0,1	0,1
6	5	10	80	5,4	$k_R^{II}=0,22$ (АР/П)	0,1	0,3
7	5	10	80	5,4	$k_R^{II}=1,29$ (АР/П)	0,3	0,1
8	5	10	80	5,4	$k_R^{II}=1,29$ (АР/П)	0,3	0,3
<b>III тип <math>k_R</math></b>							
9	5	10	120	8,1	$k_R^{III}=0,33$ (АР/И)	0,1	0,1
10	5	10	120	8,1	$k_R^{III}=0,33$ (АР/И)	0,1	0,3
11	5	10	120	8,1	$k_R^{III}=1,70$ (АР/И)	0,3	0,1
12	5	10	120	8,1	$k_R^{III}=1,70$ (АР/И)	0,3	0,3

\*АР – аргиллит; АЛ – алевролит; П – песчаник; И – известняк



### 2.3.2 Результаты лабораторных исследований

Результаты исследований приведены в таблицах Д.2-Д.4 Приложения Д, по которым строились графики зависимостей смещений реперов в почве модели с прочным слоем относительно ширины выработки.

На рисунке 2.13 показан характер смещений почвы по центру выработки в моделях с выделенными типами текстуры:  $k_R^I$  – первого типа (см. рис. 2.13а),  $k_R^{II}$  – второго (см. рис. 2.13б) и  $k_R^{III}$  – третьего типа (см. рис. 2.13в) и без прочного слоя (см. рис. 2.13г).

Анализ представленных графиков позволяет выделить два характерных этапа деформирования пород почвы. В момент возрастающего давления  $P$  в выработке происходил постепенный рост смещений почвы на участке давления  $P=0\div 1$  кгс/см<sup>2</sup>, причем наибольший рост смещений наблюдался в модели без прочного слоя. На первом этапе складкообразование слоёв происходило только над прочным слоем. На втором этапе скачкообразное увеличение смещений почвы происходило за счёт изгиба и разлома прочного слоя. При этом смещения почвы при наличии прочного слоя и без него отличаются в 2 раза в среднем по ширине выработки.

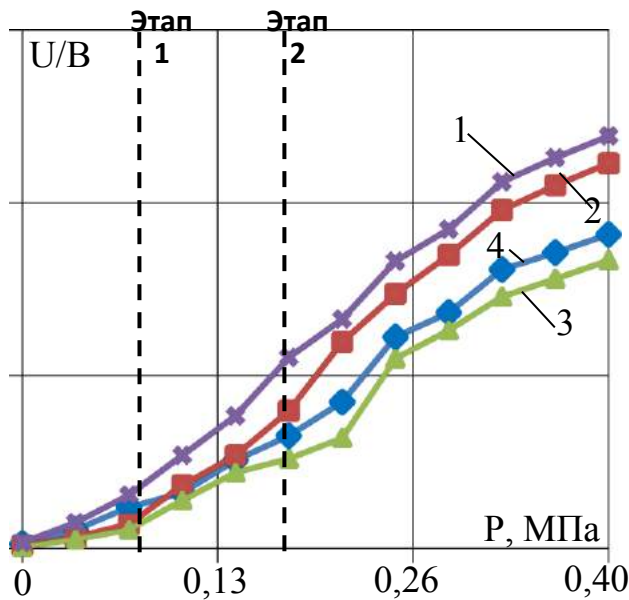
Деформационный процесс почвы с прочным слоем проявлялся в виде прогиба и разлома слоёв. Причем после разлома прочного слоя деформационный процесс имел более возрастающий характер вовлекающий нижележащие его слои в процесс смещений. Наименьшие смещения были отмечены в моделях для третьего типа  $k_R^{III}$  – №9,11 и чуть больше для второго типа  $k_R^{II}$  – №5,7, что соответствует близкому расположению слоя относительно контура выработки. При этом смещения почвы выработки для первого  $k_R^I$ , второго  $k_R^{II}$  и третьего  $k_R^{III}$  типов текстуры были соответственно в 1,25; 1,34 и 1,55 раза ниже, чем смещения почвы без слоя.

Состояние выработки на момент окончания моделирования на моделях №5,7,9,11 показаны на рисунке 2.14.

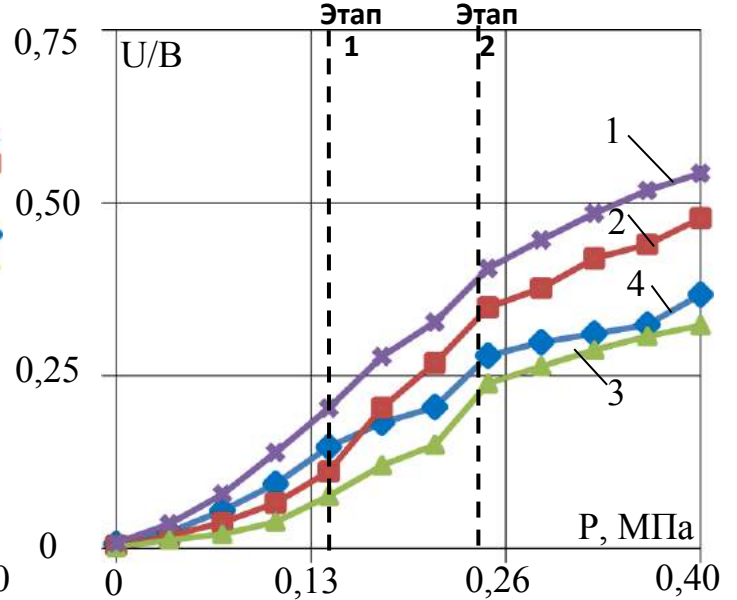
Влияние прочного слоя при наличии его в породах почвы оценивалось с помощью коэффициента  $k_U$  по формуле (2.26), расчет которого приведен в таблице Д.5 Приложения Д. На рисунке 2.15 представлены результаты зависимостей  $k_U$  от

давления в модели Р для трех типов текстур пород почвы  $k_R^I$ ,  $k_R^{II}$ ,  $k_R^{III}$  при соответствующих сочетаниях толщины ( $m_{пр}$ ) и глубины залегания ( $h_{пр}$ ) прочного слоя от подошвы выработки.

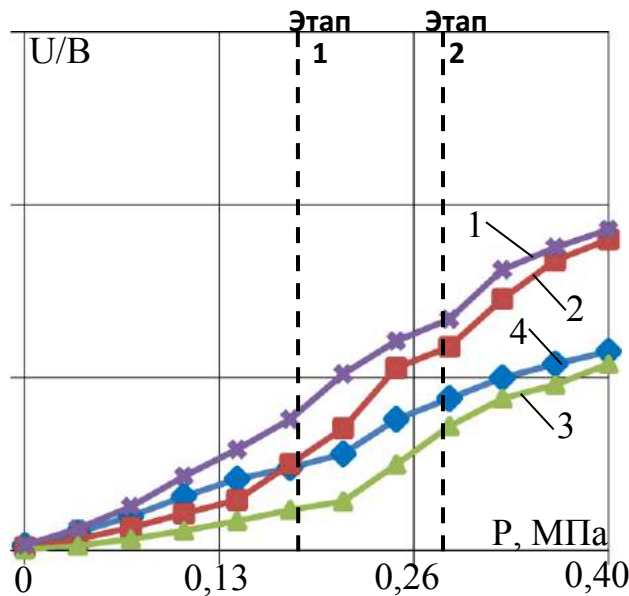
а) I-й тип  $k_R^I$  в моделях №1-4



б) II-й тип  $k_R^{II}$  в моделях №5-8



в) III-й тип  $k_R^{III}$  в моделях №9-12



г) модель №0

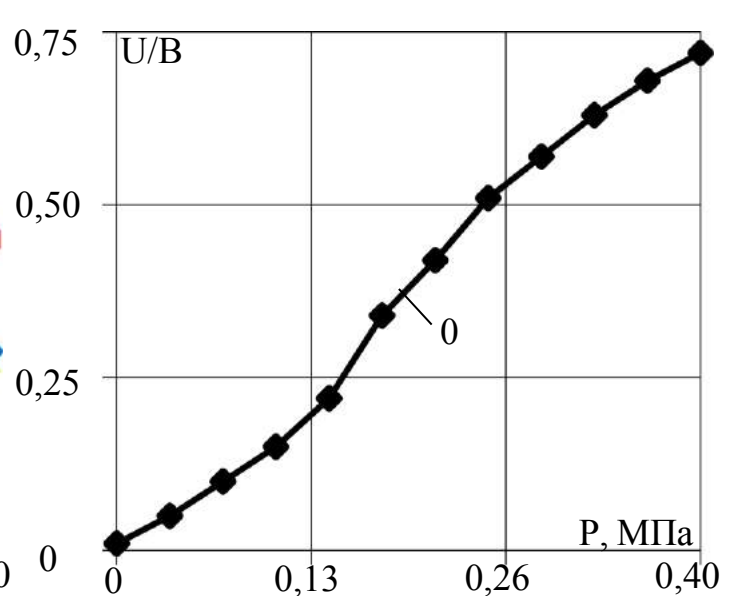
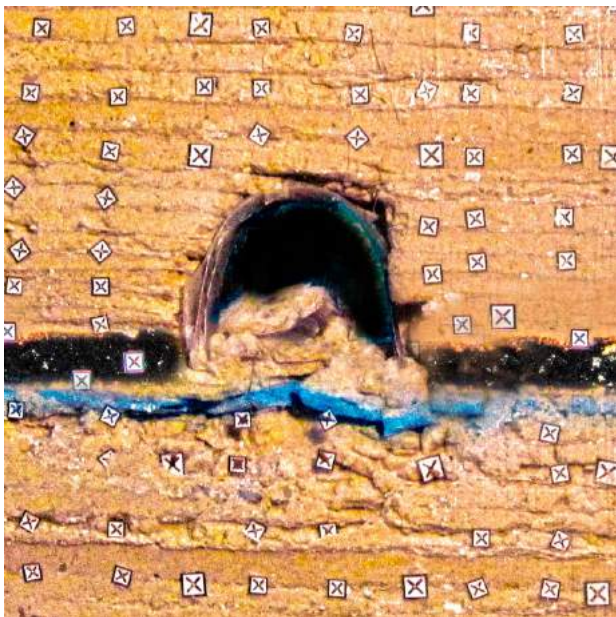
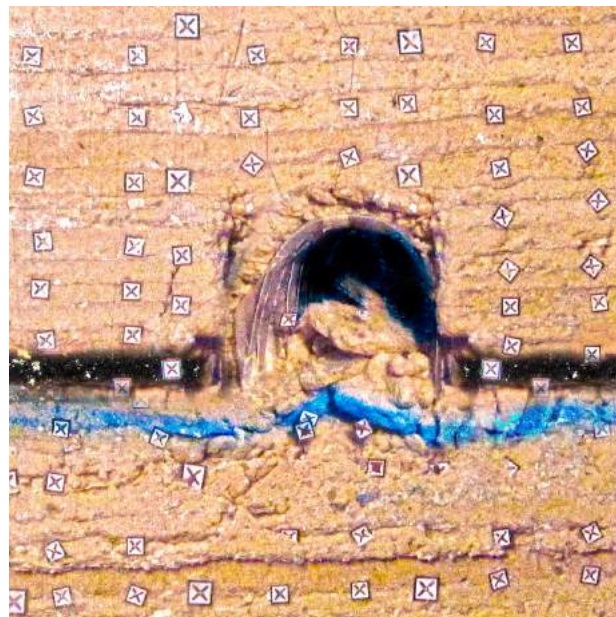


Рис. 2.13. Графики зависимостей относительных смещений пород почвы  $U/B$  от величины давления в моделях Р для трех типов текстур пород: а) I-й тип  $k_R^I$ ; б) II-й тип  $k_R^{II}$ ; в) III-й тип  $k_R^{III}$ ; при следующих сочетаниях толщины прочного слоя  $m_{пр}$  и глубины его залегания от подошвы выработки  $h_{пр}$ : 1 (—◆—) – при  $m_{пр}=0,1В$  и  $h_{пр}=0,1В$ ; 2 (—■—) – при  $m_{пр}=0,1В$  и  $h_{пр}=0,3В$ ; 3 (—▲—) – при  $m_{пр}=0,3В$  и  $h_{пр}=0,1В$ ; 4 (—◆—) – при  $m_{пр}=0,3В$  и  $h_{пр}=0,3В$ ; г) 0 (—◆—) – модель без прочного слоя

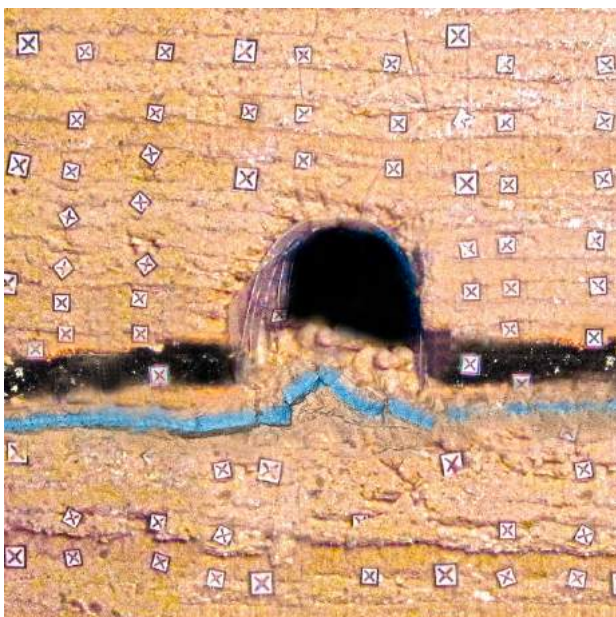
а) модели №5



б) модели №7



в) модели №9



г) модели №11

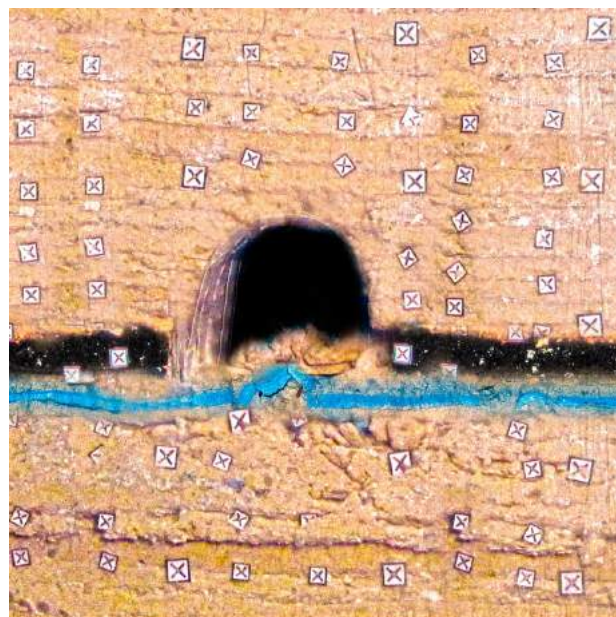


Рис. 2.14. Состояние выработки на момент окончания моделирования на моделях: а) №5; б) №7; в) №9; г) №11

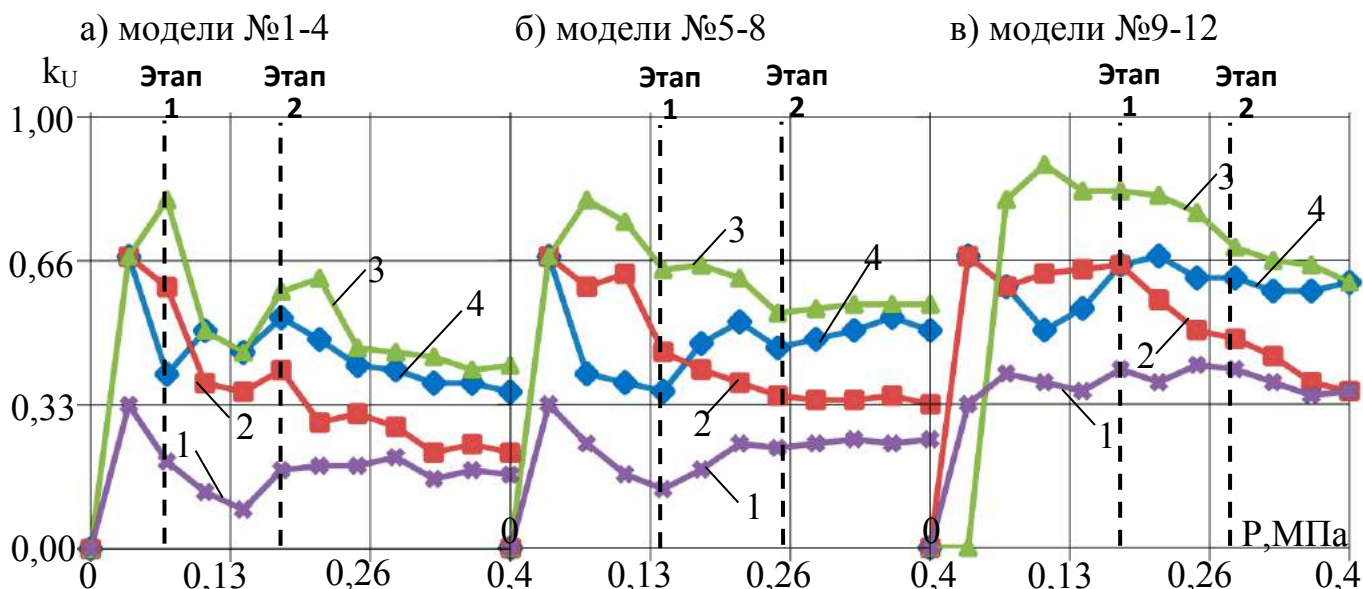


Рис. 2.15. Графики зависимостей коэффициента влияния прочного слоя  $k_U$  от величины давления в моделях  $P$  для трех типов текстур пород: а) I-й тип  $k_R^I$ ; б) II-й тип  $k_R^{II}$ ; в) III-й тип  $k_R^{III}$ ; при следующих сочетаниях толщины  $m_{пр}$  и глубины залегания  $h_{пр}$  прочного слоя: 1 (—◆—) – при  $m_{пр}=0,1В$  и  $h_{пр}=0,1В$ ; 2 (—■—) – при  $m_{пр}=0,1В$  и  $h_{пр}=0,3В$ ; 3 (—▲—) – при  $m_{пр}=0,3В$  и  $h_{пр}=0,1В$ ; 4 (—◆—) – при  $m_{пр}=0,3В$  и  $h_{пр}=0,3В$

Для трех типов текстур пород почвы выделены два этапа с начальным и конечным значениями нагрузки в модели:  $k_R^I$  –  $P=1\div 2$  кгс/см<sup>2</sup> (0,10÷0,20 МПа),  $k_R^{II}$  –  $P=1,5\div 2,5$  кгс/см<sup>2</sup> (0,14÷0,25 МПа),  $k_R^{III}$  –  $P=1,8\div 2,7$  кгс/см<sup>2</sup> (0,20÷0,28 МПа).

Из рисунка 2.15 видно, что интенсивность смещений почвы одиночной выработки в модели изменялась скачкообразно по мере роста величины давления, однако стоит отметить, что на определённый момент был зафиксирован так называемый «экранирующий эффект» – этап 1, где прочный слой выступает как элемент обратного свода крепи.

По характеру смещений на зафиксированных этапах вначале происходит уплотнение слоев под прочным слоем. Затем смещения развиваются скачкообразно и это объясняется тем, что в процессе отработки в конце второго этапа происходит прогиб прочного слоя с последующим его разломом, а «экранирующий эффект» соответственно сходит на нет. Для тонкого слоя характерен плавный его разлом, он наступает раньше, чем при наличии толстого прочного слоя. При этом вышележащие слои смещаются в выработку, а так как «экранирующий эффект» отсутствует, то включаются в работу нижележащие слои почвы. Если слой

находится глубже от подошвы выработки, то за счет вышележащих слоев происходит самозаклинивание и «экранирующий эффект» продолжающийся до дальнейшего разрушения – этап 2.

По графикам, представленным на рисунке 2.15 можно установить степень влияния изменения мощности прочного слоя на величину коэффициента влияния прочного слоя  $k_U$  для трех типов текстур пород почвы на выделенных этапах. Величина  $k_U$  между I-м типом  $k_R^I$  и III-м типом  $k_R^{III}$  текстур пород почвы на первом этапе для толщин прочного слоя:  $m_{пр}=0,1В$  – в  $1,9 \div 2,9$  раз меньше,  $m_{пр}=0,3В$  – в  $1,3 \div 1,6$  раз меньше; на втором этапе для толщин:  $m_{пр}=0,1В$  – в  $1,8 \div 2,2$  раз меньше,  $m_{пр}=0,3В$  – в  $1,5 \div 1,6$  раз меньше, чем при отсутствии прочного слоя в почве выработки. Между II-м типом  $k_R^{II}$  и III-м типом  $k_R^{III}$  текстур пород почвы величина  $k_U$  на первом этапе для толщин прочного слоя:  $m_{пр}=0,1В$  – в  $1,5 \div 2,7$  раз меньше,  $m_{пр}=0,3В$  – в  $1,3 \div 1,4$  раз меньше; на втором этапе для толщин слоя:  $m_{пр}=0,1В$  – в  $1,3 \div 1,6$  раз меньше,  $m_{пр}=0,3В$  – в  $1,2 \div 1,3$  раз меньше.

Таким образом, установлено, что смещения пород почвы и их интенсивность происходит в два этапа: на первом этапе – прочный слой выступает как обратный свод крепи, на втором этапе – происходит разлом прочного слоя.

Влияние прочного слоя на величину смещений пород почвы зависит от типа текстуры пород почвы и отличается при следующих значениях коэффициента разнопрочности равных: I-й тип  $k_R^I=0,14 \div 0,86$  – в 1,25 раз ниже; II-й тип  $k_R^{II}=0,22 \div 1,29$  – в 1,34 раз ниже; III-й тип  $k_R^{III}=0,33 \div 1,70$  – в 1,55 раз ниже, чем смещения почвы без прочного слоя.

Для проверки полученных результатов и рабочей гипотезы деформирования пород почвы при наличии в её текстуре прочного слоя проводились шахтные исследования.

## 2.4 Шахтные исследования

Шахтный метод исследований [147,148], включает в себя визуальные обследования текущего состояния массива горных пород, выработок и условий их поддержания; визуальные и простейшие инструментальные наблюдения за

проявлениями горного давления; инструментальные измерения в массиве с помощью приборов и специально оснащенных измерительных станций.

Результатами таких исследований являются эмпирические зависимости между напряженно-деформированным состоянием массива, его свойствами и горнотехническими факторами. На основании визуального обследования выбираются участки для инструментальных наблюдений.

Эти наблюдения включают следующие измерения: напряженного состояния в массиве горных пород и его изменений во времени; смещений и деформаций в массиве; разрушений и расслоений пород в выработках; контактных напряжений и смещений внешней поверхности крепи; изменений формы и размеров сечения выработки; физико-технических свойств горных пород в массиве. Измерения начинаются на стадии проведения выработок (ведения горных работ) и заканчиваются после полной стабилизации измеряемых величин, если не ожидается дальнейшее развитие деформационных процессов в массиве.

Число измерений в одинаковых условиях должно быть достаточным для статистической обработки результатов и возможности исключения или учета искажений, вносимых в результаты случайными факторами [147].

Использование реперов в качестве средства для инструментальных исследований массива позволяет вести наблюдения за характером смещения, расслоения и деформирования массива горных пород вокруг выработок, за характером деформирования горных пород и угля в зонах опорного давления и в зонах разгрузки, за проявлением горного давления. Для одновременной регистрации абсолютных и относительных деформаций пород, глубины расслоения породных толщ, выявления зоны сдвижения пород и других параметров горного давления целесообразно использовать многореперные системы в скважине.

Для наших задач этот метод является наиболее целесообразным так, как измерения смещений пород почвы необходимо производить по ее контуру в условиях выемочной выработки, которая загромождена оборудованием и материалами, а также большой концентрацией работ.

Измерение относительных смещений кровли и почвы и боковых пород горных выработок, осуществлялось согласно методике ВНИМИ [148], с учетом возможных изменений условий горнотехнологической ситуации.

Также необходимо учитывать тот факт, что присущая геологическим средам неоднородность может проявляться в различных формах. К неоднородностям, имеющим практическое значение в исследовании геомеханических процессов, относят: границы раздела горных пород с различными физическими свойствами, твердые включения и залежи, пустоты и карсты, трещины, сбросы, обводненные зоны и другие объекты. Неоднородности, находящиеся в глубине массива, могут быть обнаружены путем вскрытия массива скважинами или с поверхности при использовании физических методов. Поэтому для выявления особенностей деформирования пород почвы при наличии прочного слоя в ее текстуре были собраны и анализировались горно-геологические данные [149], а именно:

- особенности строения вмещающих пород;
- физико-механические свойства боковых пород и особенности их изменения под воздействием ведения горных работ;
- параметры исходного напряженного состояния горного массива;
- смещения боковых пород на контуре выработок в зоне влияния очистных работ и в зоне стабилизации горного давления.

Используя современный подход, для определения общей вертикальной конвергенции боковых пород по выступающим в выработке реперам, вместо рулетки ВНИМИ, замеры смещений породного контура производились лазерным дальномером Bosch DLE 70 Professional, показавшим удобство и точность измерений [15,16].

Также для фиксации особенностей процесса деформирования пород почвы в шахтных условиях, использовался метод визуальных наблюдений, включающий фотографирование и зарисовку срезов почвы в местах её подрывки. Фотографирование проводилось фотоаппаратом Canon PowerShot A2000.

Для использования электронных устройств Bosch DLE 70 Professional и Canon PowerShot A2000 в шахтных условиях было получено специальное разрешение МакНИИ (Приложение Е).

### 2.4.1 Методика шахтных экспериментов

Шахтные исследования были проведены в конвейерном штреке 8-ой западной лавы пласта  $m_3$  ОП «Шахта им. Е. Т. Абакумова» ГП «ДУЭК» при сплошной системе разработки. Схема расположения 8-й западной лавы на плане горных выработок показана на рисунке 2.16.

Выработка сечением в свету  $S_{св}=16,1 \text{ м}^2$ , проводилась на глубине 860 м с опережением очистного забоя на 5 м, за лавой возводилось жесткое охранное сооружение из двух рядов крепи СКУ совместно с бутовой полосой. Конвейерный и вентиляционный штреки закреплялись податливой металлической овоидной крепью КМП-А3Р2 из СВП-33 шириной  $B=5,1 \text{ м}$  с вертикальной податливостью 700 мм. Проведение выемочных выработок осуществляется буровзрывным способом.

По данным геологической документации разведочной скважины Щ-71 и геологической службой шахты, представленных в Приложении Ж, в составе пород почвы пласта  $m_3$  в непосредственной близости находится прочный слой известняка крепостью  $f=10\div 12$  (прочность  $\sigma_{сж}^n=100\div 120 \text{ МПа}$ ) и толщиной  $m_{пр}=0,25\div 0,40 \text{ м}$ .

На рисунке 2.17 показан состав пород почвы пласта  $m_3$  на исследуемом участке. Согласно предложенной блок-схемы выбора «прочного слоя» в Приложении Б, «прочным слоем» в текстуре пород почвы пласта  $m_3$  является второй слой известняка прочностью  $\sigma_{сж}^n=120 \text{ МПа}$ , толщиной  $m_{пр}=0,4 \text{ м}$  ( $m_{пр}=0,1B$ ), расположенным на расстоянии от подошвы выработки  $h_{пр}=1,2 \text{ м}$  ( $h_{пр}=0,2B$ ); первым выступает слой алевролита толщиной  $m_{сл}^1=1,4 \text{ м}$  и прочностью  $\sigma_{сж1}^{сл}=40 \text{ МПа}$ ; третьим – слой алевролита толщиной  $m_{сл}^2=3,3 \text{ м}$  и прочностью  $\sigma_{сж2}^{сл}=48 \text{ МПа}$ ; средневзвешенная прочность слагающих почву слабых слоёв составила  $\sigma_{сж}^{сл}=44 \text{ МПа}$ , почва пласта относится к классу средней устойчивости [111].

Согласно методике, предложенной в разделе 2.1, вычислим коэффициент разнопрочности  $k_R$  по формуле (2.2):

$$m_{пр}^{\Delta}=m_{пр}/(B-m_{пр})=0,4\cdot(5,1-0,4)=0,1; \Delta=\sigma_{сж}^n/\sigma_{сж}^{сл}=120/44=2,73$$

$k_R^n(2,73; 0,1)=2,73\cdot 0,1=0,27$  – таким образом согласно таблицы 2.2, текстура пород почвы отнесена ко второму типу.



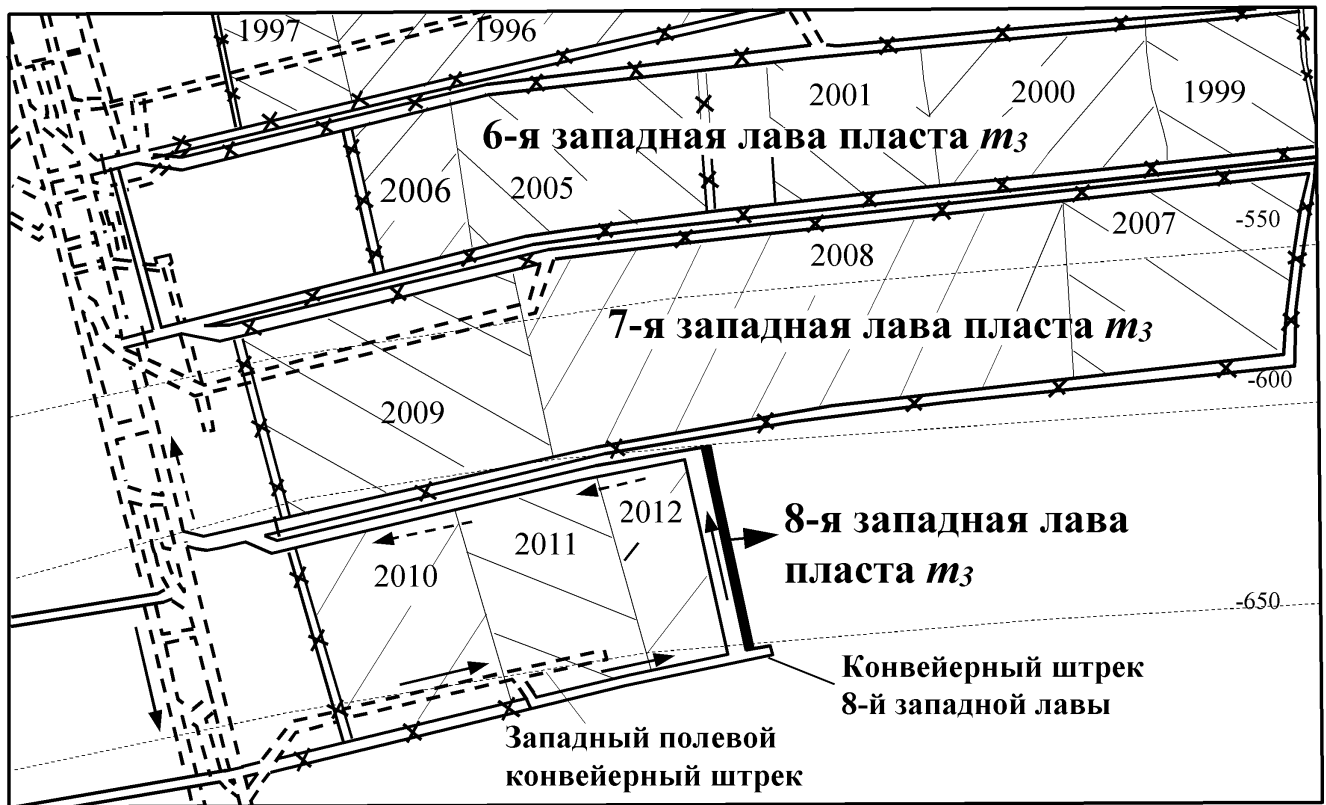


Рис. 2.16. Схема расположения 8-й западной лавы на плане горных выработок пласта  $m_3$  ОП «Шахта им. Е. Т. Абакумова» ГП «ДУЭК»

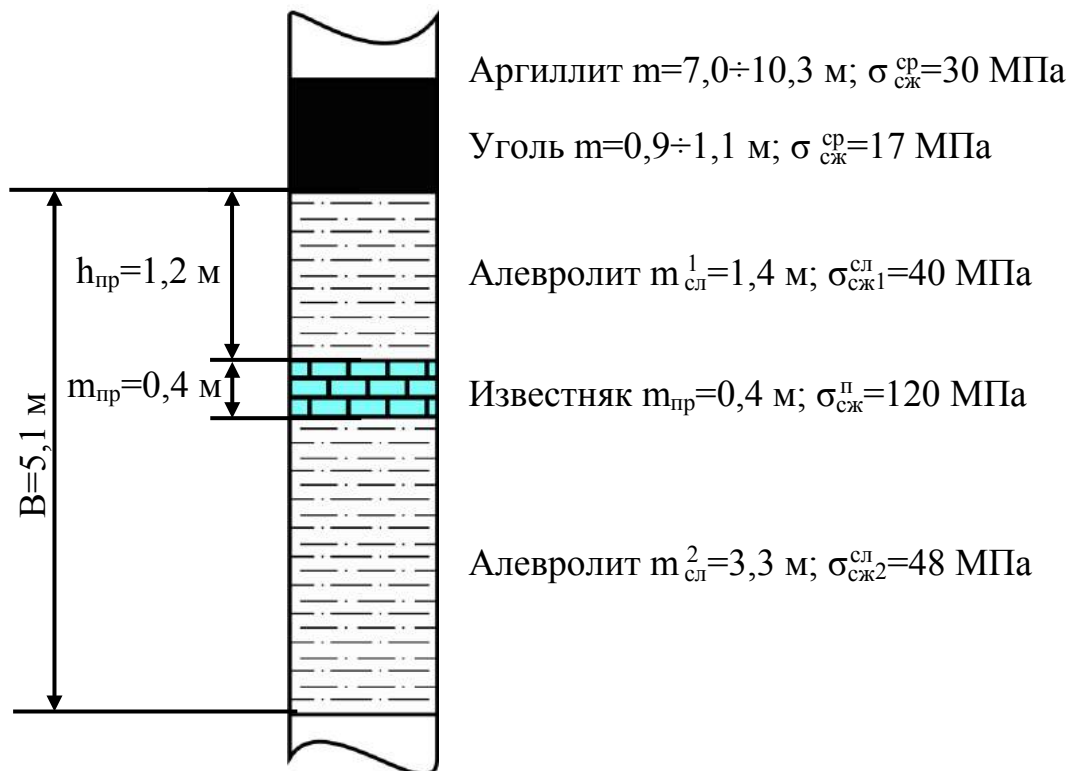


Рис. 2.17. Состав пород почвы пласта  $m_3$  в конвейерном штреке 8-ой западной лавы ОП «Шахта им. Е. Т. Абакумова» ГП «ДУЭК» на исследуемом участке

При выполнении замеров измерялись изменения высоты и ширины выработки, расстояния от почвы до кровли, величины нахлестов верхняка и стоек крепи в ее замках в зависимости от расстояния до лавы по методике, разработанной РАНМИ [150]. На рисунке 2.18 показана схема проводимых измерений, по установленным реперам, по которым измерялись высота и ширина выработки, нахлест элементов крепи и смещения почвы.

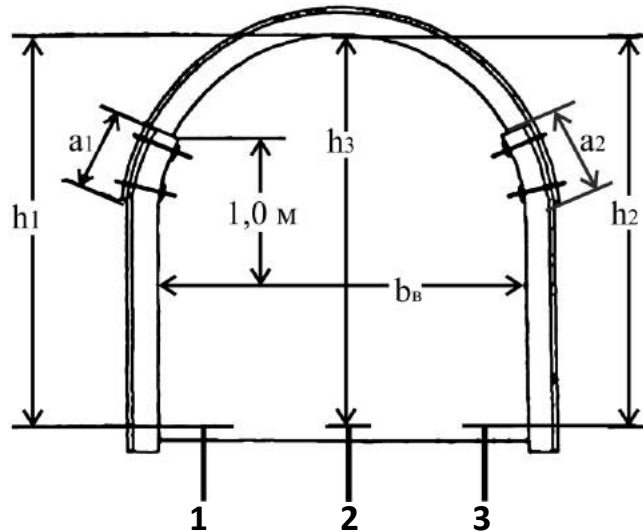


Рис. 2.18. Схема измерений по установленным реперам в выемочной выработке

Ширина выработки измерялась на уровне верхних концов стоек крепи. Величина нахлеста элементов крепи измерялась с двух сторон выработки. Изменение смещение пород почвы  $i$ -го репера рассчитывалось по формуле:

$$\Delta U_i = (h_i^h - h_i^k) - (a_i^k - a_i^h), \quad (2.37)$$

где:  $h_i^h$  и  $h_i^k$  – начальное и конечное значения высоты выработки, м;

$a_i^h$  и  $a_i^k$  – начальное и конечное значения величины нахлестки элементов спецпрофиля арочной крепи, м.

Скорость смещения реперов во времени определялась по формуле:

$$v_i = \frac{\Delta h_i - \Delta h_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}, \quad \text{м/сут} \quad (2.38)$$

где  $\Delta h_i(t_i)$ ,  $\Delta h_{i-1}(t_{i-1})$  – величина смещения реперов соответственно на момент времени  $t_i$  и  $t_{i-1}$ .

Смещения пород в конвейерном штреке измерялись по трем замерным станциям. Схема установки замерных станций показана на рисунке 2.19а. Замерные станции состояли из трех секций (рам крепи), на каждой из которых были установлены по шесть реперов, показано на рисунке 2.19б.

Установка реперов осуществлялось следующим образом: в кровле по центру и по бокам выработки на высоте 2,5 м от почвы пласта, а также в почве были пробурены короткие шпуров длиной 0,35 м и диаметром 0,042 м, в которых с помощью деревянных клиньев закреплялись деревянные стержни. По контуру почвы выработки таким же способом устанавливались за счет расклинивания в шпурах стержней таким образом, чтобы их верхний конец располагался на расстоянии 0,05 м ниже поверхности почвы и не представлял помех для перемещения горнорабочих по выработке, а также не смещался при выполнении в выработке технологических процессов.

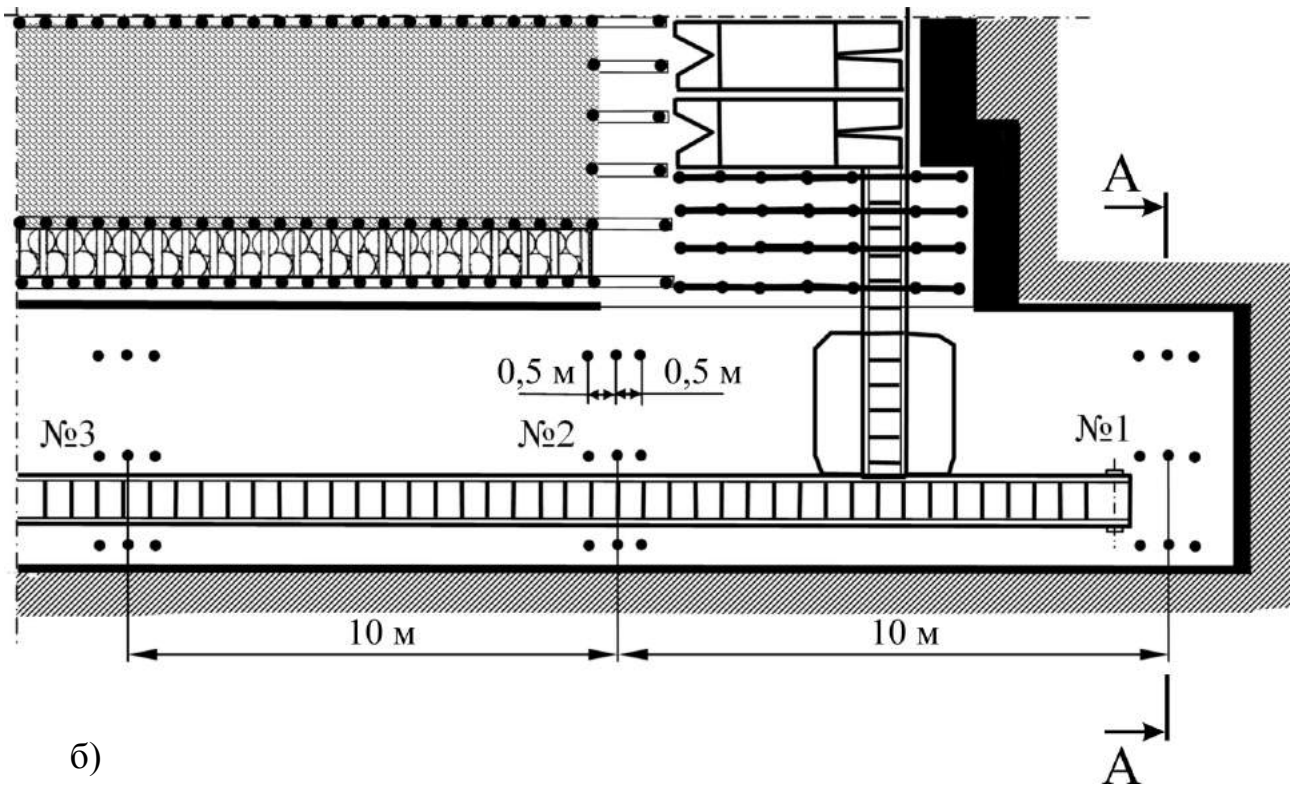
Измерения конвергенции пород производились между противоположными боковыми реперами боков и между реперами кровли–почвы выработки. При определении смещений реперов кровли и почвы производились измерения расстояний соответствующих почвенных реперов относительно средней линии между боковыми реперами.

Абсолютные смещения реперов устанавливаются с помощью геометрического нивелирования от исходного репера, заложенного в устойчивых породах вне зоны влияния действующих забоев.

Смещения пород контура выработки в настоящее время определяются как разность расстояний между соответствующими реперами, измеренных в начальный и текущий моменты, согласно формулам (2.37-2.38). Проведение инструментальных наблюдений по контурным реперным замерным станциям позволяет определить основное направление и величину смещений пород на контуре выработки. Замеры производились раз в двое суток в течение 1,5 месяцев.

По полученным данным строились графики смещений пород в окрестности выработок путем соединения замерных точек прямыми линиями, соответствующими величинам смещений реперов и их скоростей.

а)



б)

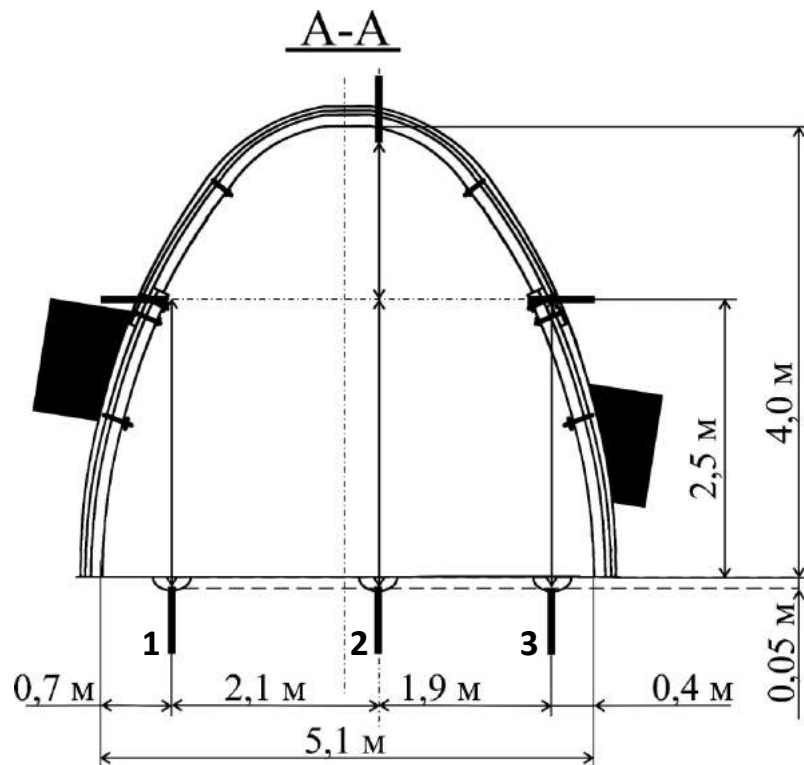


Рис. 2.19. Схема расположения замерных станций (а) и контурных реперов (б) на момент начала проведения инструментальных наблюдений в конвейерном штреке 8-й западной лавы пл.  $m_3$  ОП «Шахта им. Е. Т. Абакумова» ГП «ДУЭК»

## 2.4.2 Результаты шахтных исследований

Результаты шахтных исследований на участке конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта  $m_3$  ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова» ГП «ДУЭК» приведены в Приложении И.

Итоговые результаты средневзвешенных значений величин смещений и скоростей смещений пород почвы по трем замерным станциям сведены в табл. И.4 Приложения И, которые представлены в виде графиков на рисунке 2.20.

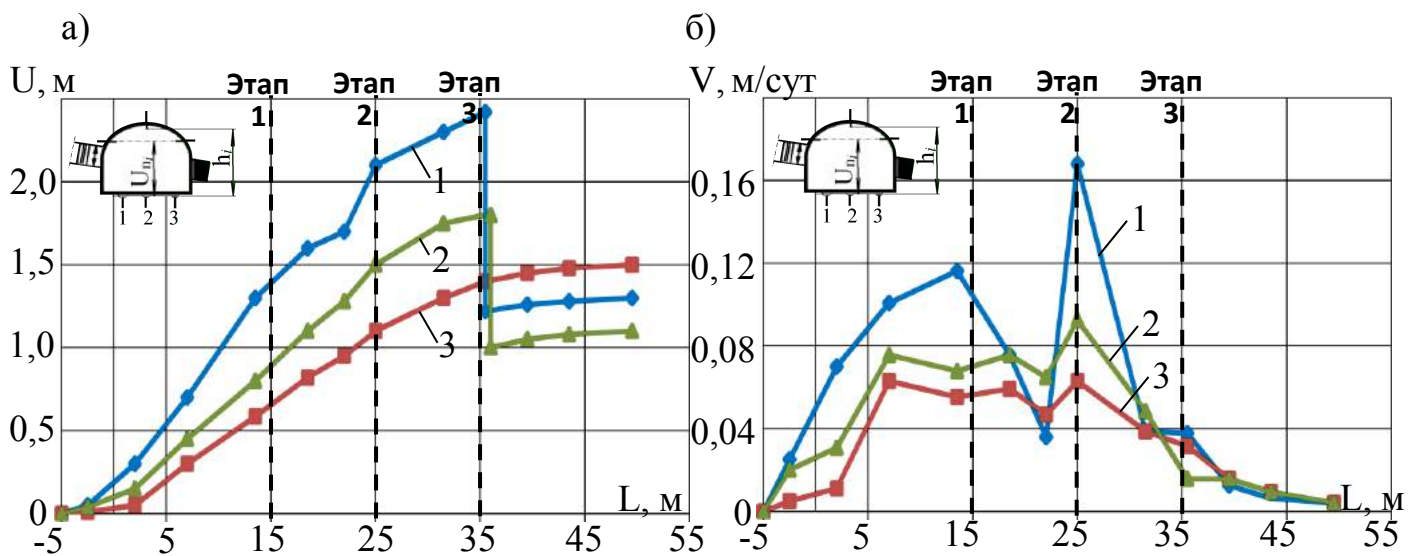


Рис. 2.20. Графики зависимостей смещений  $U$  (а) и скоростей смещений  $V$  (б) второго типа текстуры пород почвы в выработке от расстояния до очистного забоя  $L$ : 1 (—◆—) – со стороны выработанного пространства; 2 (—▲—) – по центру выработки; 3 (—■—) – со стороны угольного массива

Из рисунка 2.20 видно, что на сопряжении с лавой смещения почвы в среднем составляли  $0,3 \div 0,4$  м, а на расстоянии 25 м за очистным забоем –  $1,1 \div 2,1$  м. После разлома известняка – на расстоянии 35 м за лавой величина смещений почвы возрастает до  $1,4 \div 2,2$  м, а скорость смещений идет на спад.

Визуальными и инструментальными наблюдениями в 8-м западном конвейерном штреке пласта  $m_3$  было установлено, что интенсификация процесса выдавливания пород почвы в штреке начинается после посадки основной кровли, шаг обрушения которой составляет  $25 \div 28$  м.

Необходимо отметить, что на расстоянии 35 м от лавы производилась поддирка пород почвы, по которой делались зарисовки срезов, изображены на рисунках 2.21-2.22 и их фотографии показаны на рисунках 2.23-2.24. В местах поддирки слои пород представляли собой текстуру с ярко выраженной трещиноватостью и слоистостью в виде породной складки (см. рис. 2.23а, 2.24а). Расстояние между трещинами в прочном слое известняка составляли  $0,1 \div 0,6$  м.

В конечном итоге конвергенция кровли-почвы составила  $1,14 \div 1,65$  м (см. табл. И.1 Приложения И), причем величина выдавливания почвы составляла в общей величине смещений около 60%. Поэтому в конвейерном штреке производилась поддирка пород почвы на глубину 2,1 м по мере подвигания лавы. Поддирка производилась буровзрывным способом, сопровождающимся рядом трудностей, вызванных образованием крупных породных блоков (см. рис. 2.23б, 2.24б), разрушение которых отбойными молотками было весьма трудоемким процессом и существенно снижало темпы осуществления поддирки и выполнения производственных процессов в забое [15,16].

Рабочая гипотеза деформирования пород почвы в текстуре, которой находится прочный слой, имеет следующий механизм, который состоит из трех характерных этапов, представленных схематично на рисунке 2.21.

На первом этапе (см. рис. 2.21а), от проходческого забоя до лавы, наблюдался постоянный рост смещений и скорости смещений почвы, происходило постепенное расслоение и разрыхление трещиноватого верхнего слоя алевролита с разделением его на призматические породные фрагменты, ориентированные в основном по напластованию почвы (см. рис. 2.22а,б). Смещения почвы в среднем составляли 0,5 м, а скорости смещений возрастали равномерно до 0,12 м/сут.

На втором этапе (см. рис. 2.21б) начиная от лавы до расстояния 15 м вслед за ней смещения почвы составили в среднем 1,4 м. При этом наблюдалось интенсивное выдавливание верхнего слоя почвы, представленного алевролитом, что соответствует началу процесса складкообразования, формирующего защемление прочного слоя в заделке под опорной конструкцией на бровке лавы (см. рис. 2.22в,г, 2.23а, 2.24а). На этом этапе прочный слой в почве выработки можно рассматривать как крепь обратного свода, т.к. скорость смещений на этом этапе снижалась до 0,05 м/сут.

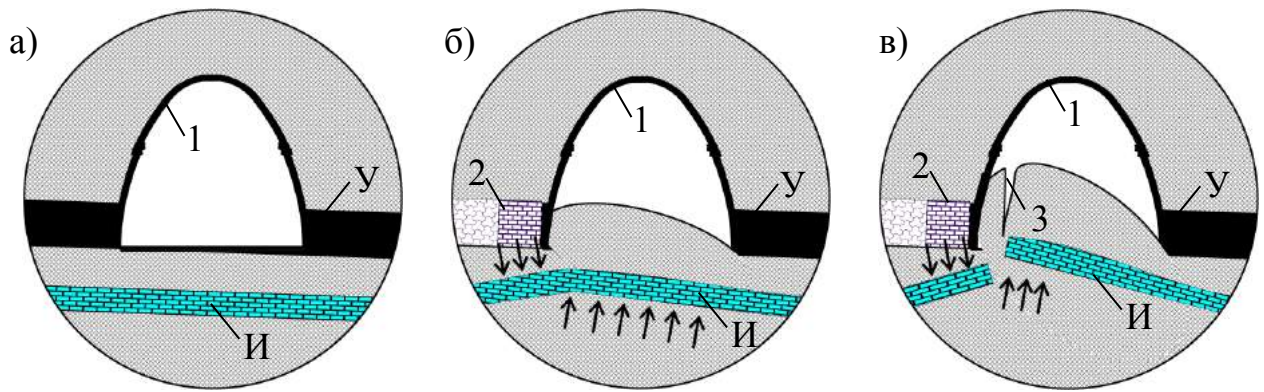


Рис. 2.21. Этапы деформирования почвы: а) до ведения очистных работ; б) в створе с охраным сооружением; в) после разлома прочного слоя; 1 – крепь выработки; 2 – жесткое охранное сооружение; 3 – продольная трещина в верхнем слое почвы; И – прочный слой известняка; У – угольный пласт

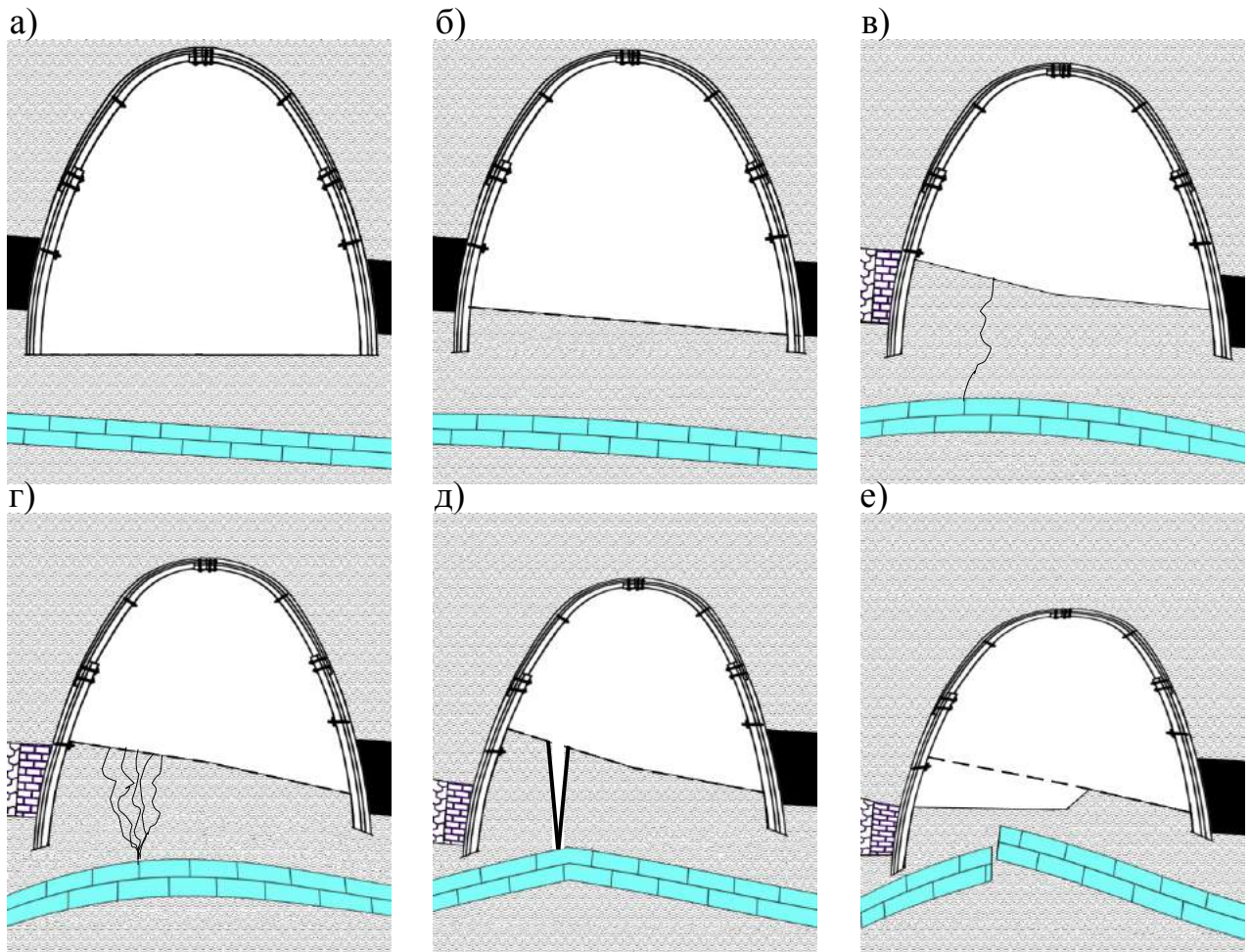


Рис. 2.22. Зарисовка разреза выемочной выработки с поэтапным деформированием пород почвы при наличии в их текстуре прочного слоя известняка 8-го западного конвейерного штрека пл. т<sub>3</sub>: а) 0 м; б) 5 м; в) 10 м; г) 15 м; д) 25 м; е) 35 м (с поддиркой)

а)



б)



Рис. 2.23. Фотографии срезов пород почвы в местах поддирки почвы конвейерного штрека 8-й западной лавы пл. т<sub>3</sub> на расстоянии 35 м от лавы до: а) замерная станция №1; б) замерная станция №2

а)



б)



Рис. 2.24. Фотографии срезов пород почвы в местах поддирки почвы конвейерного штрека 8-й западной лавы пл. т<sub>3</sub> на расстоянии 35 м от лавы до замерной станции №3: а) общий срез почвы; б) место разлома слоя известняка

На третьем этапе (см. рис. 2.21в) происходило скачкообразное увеличение скорости смещения почвы со стороны выработанного пространства (до 0,17 м/сут), а величина смещений достигала 2,5 м. При этом, под опорной конструкцией СКУ формируется жесткое защемление прочного слоя почвы с последующим его



изгибом в полость выемочной выработки и разломом с образованием продольной разрывной трещины в почве вдоль выработки со стороны выработанного пространства.

Слабый верхний слой почвы пласта, представленный алевролитом интенсивно разуплотняется сдвиговыми усилиями по напластованию в результате воздействия вертикальных выдавливающих и боковых сжимающих усилий со стороны прочного слоя известняка, деформации которого на начальном этапе представляет собой упругий изгиб (см. рис. 2.22д,е, 2.23б, 2.24б).

На расстоянии 25÷35 м вслед за лавой под действием выдавливаемых нижележащих слоев почвы происходил разлом прочного слоя известняка, жестко защемленного под опорной конструкцией на бровке лавы. При этом в верхнем слабом слое пород почвы образовывалась продольная трещина на расстоянии 1 м от стоек крепи со стороны выработанного пространства. Увеличение смещений пород почвы происходило из-за разрушения прочного слоя в результате противоосных нагрузений, вызванных с одной стороны разрушением и увеличением в объеме пород лежащих ниже его, а с другой – посредством передачи нагрузки смещающихся пород кровли через охранное сооружение. При этом интенсивные смещения пород почвы наблюдались на расстоянии 15÷20 м позади лавы, что соответствует моменту включения охранного сооружения в работу [151].

Таким образом, проведенные исследования позволили уточнить характерные этапы процесса деформирования пород почвы при наличии в ней прочного слоя для второго типа текстуры в условиях конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта  $m_3$  ОП «Шахта им. Е. Т. Абакумова» ГП «ДУЭК».

## 2.5 Выводы по разделу

На основании аналитических, лабораторных и шахтных исследований сформулированы следующие выводы:

1. Впервые предложено в качестве критерия «прочного слоя» в породах почвы, участвующих в процессе складкообразования, использовать коэффициент разнопрочности  $k_R$ , показывающий соотношение между параметрами (толщиной и прочностью) данного слоя и параметрами остальных слоёв.

2. Определен диапазон значений коэффициента разнопрочности  $k_R$  и предложена их типизация для углевмещающих пород почвы Донецко-Макеевского района Донбасса по трём типам текстур:  $k_R^I=0,03\div 1,85$ ;  $k_R^{II}=0,04\div 2,77$ ;  $k_R^{III}=0,06\div 3,69$ .

3. Впервые установлено, что устойчивость пород почвы, подверженных складкообразованию, при наличии в их текстуре прочного слоя зависит от его толщины, прочности и глубины расположения от подошвы выработки.

4. Установлено, что влияние прочного слоя на устойчивость пород почвы выемочной выработки наблюдается при его расположении на расстоянии не более  $0,5B$  от почвы выработки, прочности на одноосное сжатие более 60 МПа (при коэффициенте разнопрочности равном  $0,50\div 1,02$ ) и его толщине не менее  $0,1B$ .

5. Установлено, что прочный слой может выступать, как элемент обратного свода крепи при глубине залегания прочного слоя от подошвы выработки в диапазоне от  $0,1$  до  $0,5B$  с изменением его толщины от  $0,1$  до  $0,5B$ , где  $B$  – ширина выработки. Причем его максимальное влияние для выделенных типов текстур пород наблюдалось при значениях коэффициента разнопрочности равных:  $k_R^I=0,14\div 0,86$  (I-й тип),  $k_R^{II}=0,22\div 1,29$  (II-й тип),  $k_R^{III}=0,33\div 1,70$  (III-й тип).

6. Впервые установлены особенности процесса деформирования пород почвы выемочных выработок при наличии в их текстуре прочного слоя, заключающиеся в поэтапном развитии деформаций:

- на первом этапе происходит расслоение слоя пород, расположенного над прочным слоем;

- на втором этапе прочный слой под воздействием жесткого охранного сооружения со стороны выработанного пространства изгибается, вызывая интенсивное выдавливание в выработку выше расположенных пород;

- на третьем этапе происходит разлом прочного слоя.

## РАЗДЕЛ 3

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД ПОЧВЫ  
ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК И ОБОСНОВАНИЕ ЕГО ПАРАМЕТРОВ

Целью проводимых исследований является разработка способа обеспечения устойчивости почвы выемочных выработок и обоснование его параметров в условиях сплошной системы разработки при наличии в её текстуре прочных слоёв.

**3.1 Разработка способа обеспечения устойчивости выемочных выработок на основе использования несущей способности прочного слоя пород почвы**

Обзор, проведенный в разделе 1.3, показал, что наиболее перспективным направлением обеспечения устойчивости выемочных выработок являются механические способы упрочнения почвы, путем повышения несущей способности пород за счет силового отпора, имеющие ряд преимуществ, а именно: простота реализации, локальное воздействие, возможность демонтажа и экономия материальных и трудовых затрат. Известно, что в таких видах способов обеспечения устойчивости пород почвы для реализации силового воздействия используют крепь усиления в тех или иных модификациях [104-107].

Однако, несмотря на простоту реализации силового отпора крепью усиления в виде стоек, такая конструкция имеет ряд недостатков, вызванных установкой крепи усиления непосредственно на почву, сопровождающейся сдвигом стоек вдоль оси выработки, вызывающего дополнительные продольные усилия, приводящие к расслоению почвы, что в конечном счете приводит к их вдавливанию и к уменьшению отпора крепи или к его полной потере.

Исследования, проведенные в выемочных выработках на шахтах Донбасса [8,15,16,18,26,27,87,90,101,102,103,108,125,126,127,151] позволили прийти к выводу о том, что устойчивость выработок предопределяется постоянным взаимодействием геомеханической системы «породный массив – крепь».

В целом, по полученным в разделе 2 результатам исследований, прочный слой, находящийся в почве выемочной выработки, может выступать в качестве элемента крепи, как обратный свод, при условии сохранения его целостности, путем повышения его несущей способности за счет силового отпора.

Исходя из выше сказанного, был предложен способ [152-155], заключающийся в создании системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» с помощью упорно-лежневой крепи усиления.

Сущность предложенного способа поясняется чертежом на рисунке 3.1.

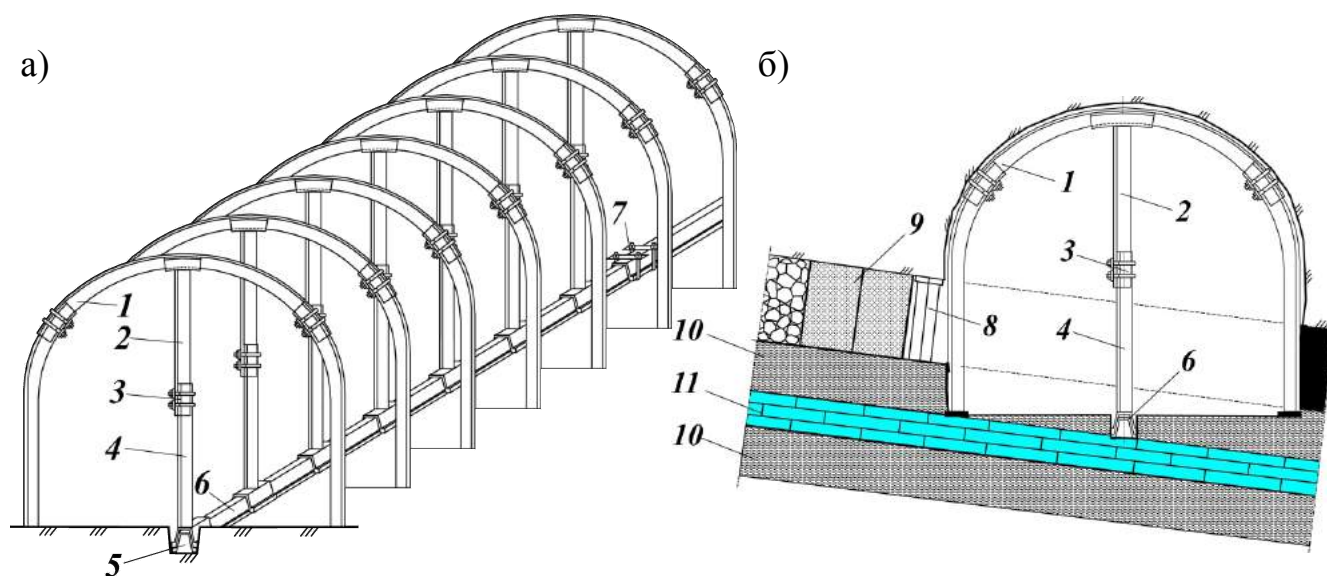


Рис. 3.1. Общий вид предлагаемого способа: по длине выработки (а) и в поперечном сечении штрека (б): 1 – крепь выработки; 2 – верхняя часть стойки крепи усиления; 3 – замок крепи усиления; 4 – нижняя часть стойки крепи усиления; 5 – продольная канавка; 6 – продольный лежень в канавке; 7 – замок для соединения отрезков продольного лежня; 8 – деревянные стойки; 9 – жесткое охранное сооружение; 10, 11 – соответственно слабый и прочный слои пород почвы

Создание системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» осуществляют следующим образом. По мере подвигания забоя в поддерживаемой выработке в зоне повышенного горного давления под верхняк основной крепи 1 (см. рис. 3.1) последовательно устанавливают по центру вдоль выработки крепь усиления, выполнена из верхней 2 и нижней 4 частей стойки из отрезков металлического профиля, соединенных между собой замковым соединением 3. На

почву выработки по центру, в заранее сооруженную канавку 5, укладывают отрезок металлического профиля продольно расположенного лежня 6 длиной равной ширине выработки, входящий внахлест с ранее уложенным отрезком лежня и жестко соединяют их между собой замковым соединением 7. На уложенный лежень 6 устанавливают крепь усиления, таким образом, чтобы нижняя часть стойки крепи усиления 4 входила в зацепление с лежнем 6 посредством жестко закрепленного на ней отрезка металлического профиля, и верхняя часть стойки крепи усиления 2 посредством жестко соединенного с ней отрезка металлического профиля входила в зацепление с верхняком основной крепи 1. Продольные лежни и крепь усиления демонтируются в зоне установившегося горного давления.

Для сплошных систем разработки по мере подвигания  $L_{отс}$  проходческого забоя 1 (см. рис. 3.2) перед зоной повышенного горного давления  $L_{зона}$  целесообразно производить установку стоек крепи усиления 2 вдоль выработки кратным шагом установки рам  $a_p$  основной крепи 3 в створе с охранным сооружением 4 непосредственно на близлежащий прочный слой почвы на всю длину зоны воздействия  $L_{возд}$  системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» упорно-лежневой крепью усиления.

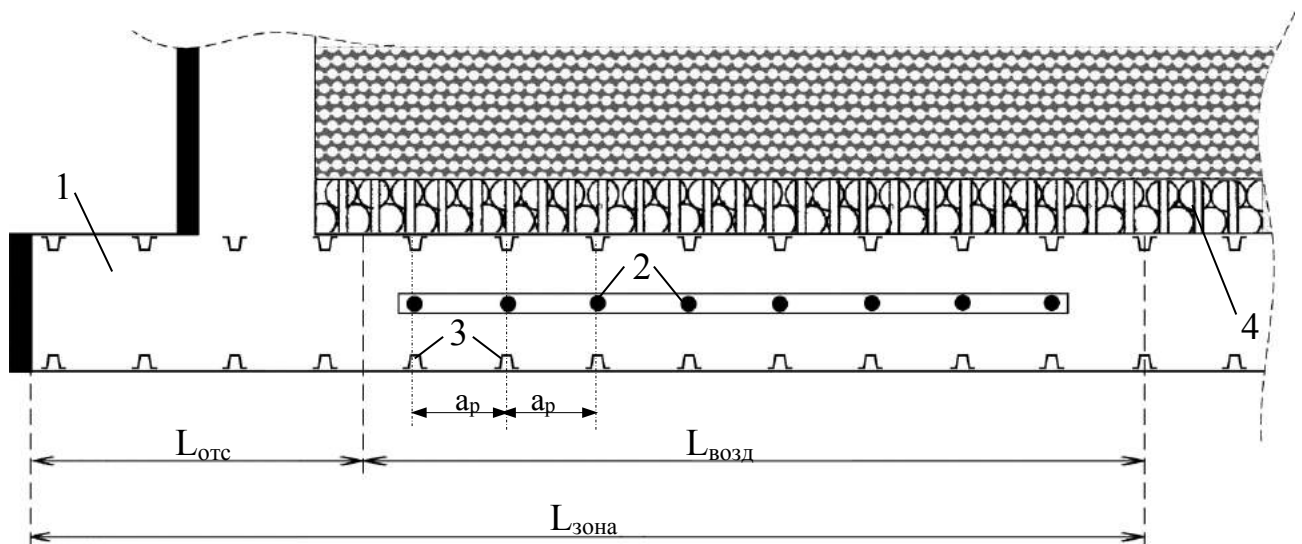


Рис. 3.2. Схема создания системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» по длине выемочной выработки:  $a_p$  – шаг установки основной крепи, м;  $L_{отс}$  – расстояние до лавы, м;  $L_{возд}$  – длина упорно-лежневой крепи усиления, м;  $L_{зона}$  – расстояние до зоны повышенного горного давления, м

В предложенном способе жесткая связь верхняка крепи и нижнего лежня с крепью усиления, контактирующей непосредственно с прочным слоем, позволяет обеспечить передачу силового воздействия от смещающихся пород кровли и почвы для противодействия этим смещениям. Эффект от применения этого способа будет достигаться за счет использования на определенном участке по длине выработки с регламентируемыми параметрами в зависимости от напряженно-деформированного состояния, прочностных и литологических характеристик вмещающих пород.

Для определения области применения системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» и оценки её эффективности были проведены аналитические и лабораторные исследования. В качестве основных факторов, влияющих на область применения способа, принимались: глубина залегания прочного слоя  $h_{пр}$  от подошвы выработки, его прочность  $\sigma_{сж}^п$  и толщина  $m_{пр}$ .

### **3.2 Методика и результаты аналитических исследований механизма работы системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи»**

Аналитические исследования выполнялись в два этапа, описанных в разделе 2.2, для численного решения в MathCAD и программного пакета SolidWorks Simulation, но при этом учитывалось воздействие постоянных сил, вызванных охранным сооружением и крепью усиления.

#### *Методика и результаты расчетного алгоритма численного решения в MathCAD*

На первом этапе постановка задачи сводилась к качественной оценке эффективности внешнего воздействия системы «прочный слой – крепь усиления» на смещения пород почвы горных выработок с помощью методов теории упругости. Аналогично модели представленной в разделе 2.2.1, прочный слой пород почвы, изображенный на рисунке 3.3, представлен в виде породной балки длиной  $l$  равной ширине выработки  $B$ . Для оценки эффективности работы «прочный слой – крепь усиления» задача сводилась к определению соотношения

величины прогиба прочного слоя с предложенным воздействием (рис. 3.3а) и без него (рис. 3.3б) по центру выработки от таких факторов как толщина  $m_{пр}$  и прочность  $\sigma_{сж}^п$  пород, с максимальными значениями напряжений  $\sigma_r$ , действующими на торце балки (рис. 3.3в,г).

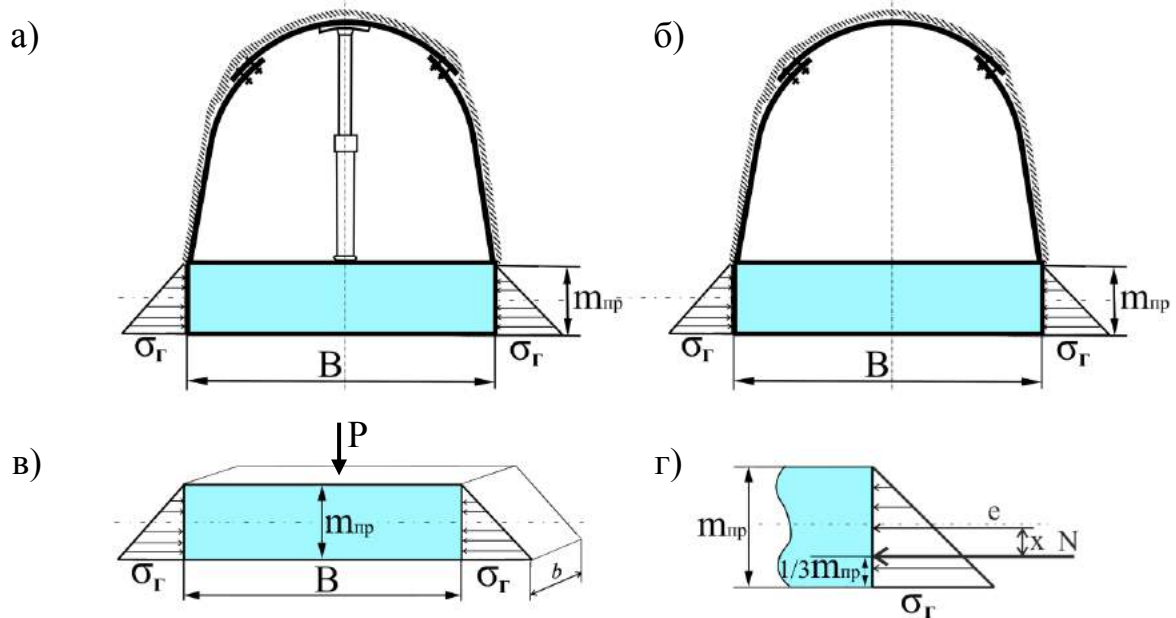


Рис. 3.3. Расчетная схема для определения прогиба прочного слоя пород почвы с предложенным способом в выработке (а) и без него (б), с внешним воздействием  $P$  и напряжениями  $\sigma_r$ , действующими на балку (в) и ее торце (г)

При установке стойки расчётную схему можно представить, как шарнирно-закрепленную балку на упругом основании с внешним воздействием  $P$  от предложенного способа в выработке крепью усиления, показанную на рисунке 3.4.

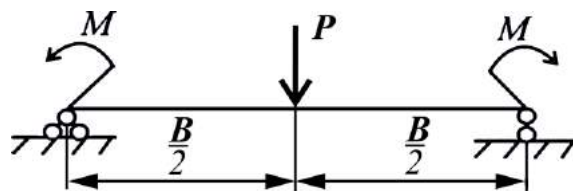


Рис. 3.4. Расчетная схема балки с внешним воздействием  $P$

При расчете принимаем внешнее воздействие  $P$ , действующую от стойки на прочный слой пород равной критической силе. Критическая сила определялась по формуле Эйлера для шарнирно-закрепленного стержня [139].

После образования трещины дальнейшее деформирование балки и ее смещение внутрь выработки происходит под действием продольной нагрузки  $N$  (см. рис. 3.3г). В этом случае балка испытывает продольно-поперечный изгиб.

Аналогично проводились исследования прогиба балки длиной  $l=2B$  от воздействия крепи усиления  $P_{ст}$  совместно с охранным сооружением  $P_{охр}$ , в месте их воздействия  $B/2$  и  $B$  соответственно принятого расположения в выемочных выработках. Расчетная схема показана на рисунке 3.5.

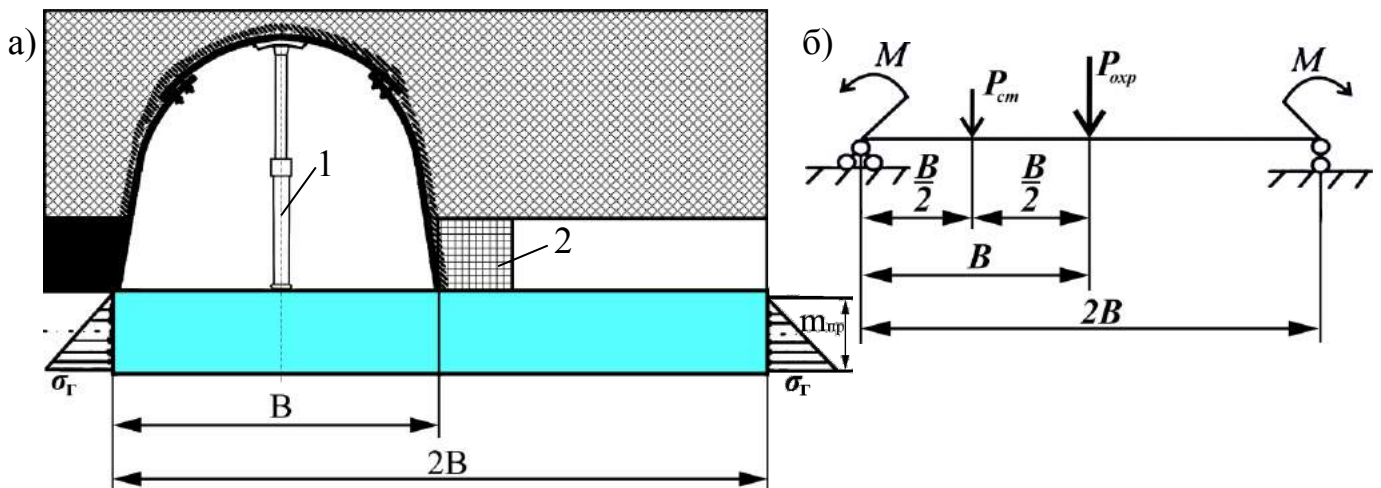


Рис. 3.5. Общий вид принятой расчетной схемы (а) для определения смещений верхнего слоя пород почвы с установленной крепью усиления 1 и охранным сооружением 2 с учетом:  $P_{ст}$  – установки крепи усиления на слой,  $P_{охр}$  – установкой охранным сооружения, и  $\sigma_{Г}$  – напряжениями, действующими на прочный слой пород почвы на торце балки (б)

Таким образом, суть задачи сводилась к определению качественной оценки эффективности системы «прочный слой – крепь усиления» по прогибам балки от внешнего воздействия на неё в сравнении (см. рис. 3.5): с установленной крепью усиления 1, установленным охранным сооружением 2, и совместно с крепью усиления 1 и охранным сооружением 2.

При расчете балки рассматривалось влияние поперечной и продольной нагрузки, используя метод начальных параметров при продольно-поперечном изгибе. Уравнение при продольно-поперечном изгибе по методу начальных параметров, определяется по формулам:



$$\begin{aligned}
W(kx) = & W_0 + \frac{\varphi_0}{k} \sin kx + \frac{M_0}{N} (1 - \cos kx) + \frac{Q_0}{kN} (kx - \sin kx) \\
& + \frac{M}{N} (1 - \cos k(x - a)) + \frac{P}{kN} [k(x - b) - \sin k(x - b)] \\
& + \frac{q}{k^2 N} \left[ 1 - \cos k(x - c) - \frac{k^2(x - c)^2}{2} \right] \\
& - \frac{q}{k^2 N} \left[ 1 - \cos k(x - d) - \frac{k^2(x - d)^2}{2} \right];
\end{aligned} \tag{3.1}$$

Уравнение углов поворота сечений:

$$\begin{aligned}
\varphi(kx) = & \varphi_0 \cos kx + \frac{kM_0}{N} \sin kx + \frac{Q_0}{N} (1 - \cos kx) + \frac{kM}{N} \sin k(x - a) \\
& + \frac{P}{N} [1 - \cos k(x - b)] + \frac{q}{kN} [\sin k(x - c) - k(x - c)] \\
& - \frac{q}{kN} [\sin k(x - d) - k(x - d)];
\end{aligned} \tag{3.2}$$

Уравнение изгибающих моментов:

$$\begin{aligned}
M = & -\varphi_0 \frac{N}{k} \sin kx + M_0 \cos kx + \frac{Q_0}{k} \sin kx + M \cos k(x - a) \\
& + \frac{P}{k} \sin k(x - b) + \frac{q}{k^2} [-1 + \cos k(x - c)] \\
& - \frac{q}{k^2} [-1 + \cos k(x - d)];
\end{aligned} \tag{3.3}$$

Уравнение поперечных сил:

$$Q(kx) = Q_0 + P + \frac{q}{k} [k(x - c)] - \frac{q}{k} [k(x - d)]; \tag{3.4}$$

где  $W_0, I_0, M_0, Q_0$  - соответственно прогиб, угол поворота сечения, момент и поперечная сила в начале координат;

$(x - a); (x - b); (x - c); (x - d)$  - расстояние от рассматриваемого сечения до моментов силы, начала и конца распределенной нагрузки, м;

$$k = \sqrt{\frac{N}{EI}} \tag{3.5}$$

где  $N$  – продольная сила, Н.

Критическая сила для шарнирно-закрепленной балке пролетом  $l=B$  и шириной  $b = 1$  м, толщиной  $m_{\text{пр}}$  определяется по формуле Эйлера:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2} \quad (3.6)$$

где  $E$  – модуль упругости материала балки Н/м<sup>2</sup>;

$I$  – осевой момент инерции:

$$I = \frac{b m_{\text{пр}}^3}{12} \quad (3.7)$$

$\mu$  – коэффициент приведения длины, зависящей от способа закрепления.

При принимаемой расчётной схеме, балка шарнирно-закреплена, то коэффициент  $\mu=1$ , тогда согласно (3.6) критическая сила равна:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{l^2},$$

Критическое напряжение находится по формуле:

$$\sigma_{кр} = \frac{P_{кр}}{A}$$

где:  $A$  – площадь сечения балки:

$$A = b m_{\text{пр}}, \text{ м}^2$$

Начальных параметры и граничные условия принимались  $x=0, W=W_0=0, M_0=-M, x=l, M=-M$ .

В случае установки крепи усиления в виде вертикальной стойки критическая сила будет больше [156, 157], т.к. стойка будет препятствовать вертикальному перемещению почвы в зоне установки, представляя собой дополнительную опору, что позволит увеличить критичную силу почти в четыре раза, также в месте установки охранного сооружения можно принимать его как заделку, подобранную опытным путем [158, 159] и соответственно формуле (3.6) сила равна:

$$P_{кр} = \frac{2\pi^2 EI}{l^2},$$

Таким образом критическая сила возрастает в два раза, а несущая способность слоя увеличивается.

Внешнее воздействие на прочный слой от крепи усиления  $P_{ст}$  и от охранного сооружения  $P_{охр}$  определялось, как результат давления со стороны кровли, согласно данным ВНИМИ [109].

По формуле (3.1) с помощью, разработанной программы в MathCAD (рисунок К.1 Приложения К), были выполнены расчеты для балки на упругом основании и построены графики прогибов, без внешнего воздействия  $W_1$  и внешними воздействиями  $W_2$  в их сравнении, при тех же равных условиях:

- а) по ширине выработки  $B$  (рис. К.2-К.4 Приложения К) в зависимости от:
  - типа пород: аргиллит, алевролит, песчаник, известняк с характеристиками из таблицы 2.3 раздела 2.2.1;
  - толщины прочного слоя:  $m_{пр}=0,05B; 0,1B; 0,15B; 0,2B$ ;
  - длины балки  $l=2;3;4;6$  м равной ширине выработки  $B$ ;
- б) по центру выработки (рисунки К.5-К.7 Приложения К) в зависимости от:
  - толщины прочного слоя  $m_{пр}$  для типа пород: аргиллита, алевролита, песчаника, известняка;
  - длины балки  $l$  для типа пород: аргиллита, алевролита, песчаника, известняка;
  - длины балки  $l$  для толщины прочного слоя:  $m_{пр}=0,05B; 0,1B; 0,15B; 0,2B$ ;
- в) по длине балки  $l=2B$  по центру выработки  $0,5B$  для двух типов воздействий в зависимости от типа пород: аргиллита, алевролита, песчаника, известняка и толщины прочного слоя:  $m_{пр}=0,05B; 0,1B; 0,15B; 0,2B$  (рис. К.8 Приложения К).

Анализ функций прогибов породной балки от внешнего воздействия производился путем их отношения при помощи коэффициента  $k_w$  по формуле:

$$k_w = \frac{W_2}{W_1} \quad (3.8)$$

где  $W_1$  – функция прогибов породной балки без внешнего воздействия;

$W_2$  – функция прогибов породной балки с внешним воздействием.

Интерпретация значений  $k_w$  имеет следующий характер, при  $k_w > 1$  – внешнее воздействие эффективно, т.к. величина значений функции больше с внешним воздействием, чем без него, следовательно  $k_w < 1$  – внешнее воздействие не эффективно.

На рисунке К.2 в Приложении К видно, что внешние воздействие на слой при толщине  $m_{\text{пр}}=0,1\text{В}$  в виде установки системы «прочный слой – крепь усиления» снижает величину прогибов балки в  $1,13\div 1,16$  раза по центру выработки, если в качестве «прочного слоя» выступает слой аргиллита и алевролита (рис. К.2а,б). В случае если в качестве «прочного слоя» выступает песчаник и известняк, то снижение величины прогибов по ширине выработки более равномерно и уменьшается в  $1,10\div 1,11$  раза (рис. К.2в,г). В целом можно сделать вывод, что установка системы «прочный слой – крепь усиления» эффективна, т.к.  $k_w > 1$ . Более же равномерное распределение величин прогибов по длине балки характерно для известняка, значения  $k_w = 1,10\div 1,16$ .

На рисунке К.3 в Приложении К видно, что внешние воздействие на слой с характеристикой породы известняка в виде установки системы «прочный слой – крепь усиления» снижает величину прогибов балки для слоя толщиной  $m_{\text{пр}}=0,05\text{В}$  уменьшает прогибы в  $1,17$  раза и для слоя толщиной  $m_{\text{пр}}=0,1\text{В}$  – в  $1,12$  раза. В случае если толщина слоя составляет  $m_{\text{пр}}=0,15\text{В}$  и  $m_{\text{пр}}=0,2\text{В}$  влияние системы менее эффективное и уменьшает смещения в  $1,06\div 1,11$  раза. Установка системы «прочный слой – крепь усиления» наиболее эффективна при установке на слой толщиной  $m_{\text{пр}}=0,05\text{В}$  и менее при установке на слой толщиной  $m_{\text{пр}}=0,2\text{В}$ .

Из рисунка К.4 видно, что установка системы «прочный слой – крепь усиления» для известняка толщиной равной  $m_{\text{пр}}=0,1\text{В}$  с шириной выработки равной  $2\div 6$  м, в таком случае прогибы слоя почвы уменьшаются в  $1,08\div 1,18$  раза.

В Приложении К на рисунке К.5, представлены графики изменения прогибов балки в центре выработки длиной  $l=4$  м в зависимости от толщины слоя  $m_{\text{пр}}$  для каждого типа рассматриваемых пород. Как видно из графиков, установка системы «прочный слой – крепь усиления» позволяет уменьшить величину прогибов слоя в  $1,10\div 1,27$  раза происходит при толщине слоя  $m_{\text{пр}}=(0,05\div 0,1)\text{В}$ .

В Приложении К на рисунке К.6, показаны графики изменения прогибов в центре выработки в зависимости от длины балки  $l$  при толщине слоя  $m_{\text{пр}}=0,05\text{В}$  для различного типа пород. На рис. К.6 видно, что при увеличении длины балки установка системы «прочный слой – крепь усиления» уменьшает величину прогиба

слоя, причем в зависимости от типа пород и длины балки  $l=2\div 5$  м значения прогибов в сравнении с силовым воздействием и без его будут составлять для аргиллита –  $1,16\div 1,20$  раза, алевролита –  $1,13\div 1,19$  раза, песчаника –  $1,11\div 1,21$  раза, известняка –  $1,10\div 1,26$  раза соответственно.

В Приложении К на рисунке К.7, показаны графики изменения прогибов в центре выработки в зависимости от длины балки  $l$  с характеристиками породы известняка при различной толщине слоя, так при длине балки  $l=2\div 5$  м значения прогибов в сравнении с силовым воздействием и без него будут составлять для  $m_{пр}=0,05B$  –  $1,17\div 1,21$  раза,  $m_{пр}=0,1B$  –  $1,10\div 1,19$  раза, однако для толщин  $m_{пр}=0,15B$  и  $m_{пр}=0,2B$  силовое воздействие не влияет, так значение  $k_w < 1$ .

На рисунке К.8 Приложения К, показаны результаты исследований изменения прогибов балки по её длине для двух типов воздействий: с внешним воздействием от охранного сооружения и совместным воздействием от крепи усиления и охранного сооружения, в зависимости от параметров: типа пород слоя и его толщины. В общем случае из рис. К.8 видно, что для толщины  $m_{пр}=(0,05\div 0,1)B$  совместное воздействие в точках приложения  $B/2$  и  $B$  на балку имеет значения  $k_w > 1$ , так для толщины  $m_{пр}=0,05B$  –  $1,18\div 1,30$  раза (см. рис. К.8а) и для  $m_{пр}=0,1B$  –  $1,10\div 1,18$  раза (см. рис. К.8б), причем для толщины  $m_{пр}=0,15B$  и  $m_{пр}=0,2B$  в зоне влияния выработки до ширины  $B$  воздействие от крепи усиления не влияет на прогибы, т.к.  $k_w < 1$ , а лишь воздействие в месте установки от охранного сооружения, причем его влияние не значительно, т.к.  $k_w=1,05\div 1,10$  (см. рис. К.8в,г).

Приведенные исследования позволяют сделать вывод, что если в качестве «прочного слоя» выступает слой аргиллита и алевролит с  $\sigma_{сж}^п=40\div 60$  МПа и толщиной  $m_{пр} < 0,5B$ , то при совместной установке на его крепи усиления с охранным сооружением их воздействие менее эффективно, чем на слой известняка или песчаника с  $\sigma_{сж}^п=80\div 120$  МПа толщиной  $m_{пр} < 0,5B$ .

Таким образом, силовое воздействие охранного сооружения и крепи усиления на балку толщиной  $m_{пр} < 0,5B$  эффективно если в качестве «прочного слоя» выступает слой с прочностью  $\sigma_{сж}^п=80\div 120$  МПа и менее эффективна для пород с  $\sigma_{сж}^п=40\div 60$  МПа.

*Методика и результаты расчетной модели для SolidWorks Simulation*

На втором этапе исследовался механизм работы от внешнего воздействия системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» для следующих условий: прочный слой с толщиной  $m_{пр}$  от  $0,1B$  до  $0,5B$  и глубиной залегания от почвы  $h_{пр}$  с  $0,1B$  до  $0,5B$  для первого  $k_R^I$ , второго  $k_R^{II}$  и третьего  $k_R^{III}$  типов текстуры пород почвы. Для этого была разработана расчетная схема, показанная на рисунке 3.6, в которой моделировалась выемочная выработка с внешним воздействием на прочный слой 3 и без него. В программном комплексе SolidWorks Simulation, была создана объемная модель отработанной выемочной выработки шириной равной  $B=4,3$  м, схема которой показана на рисунке Л.1 Приложения Л.

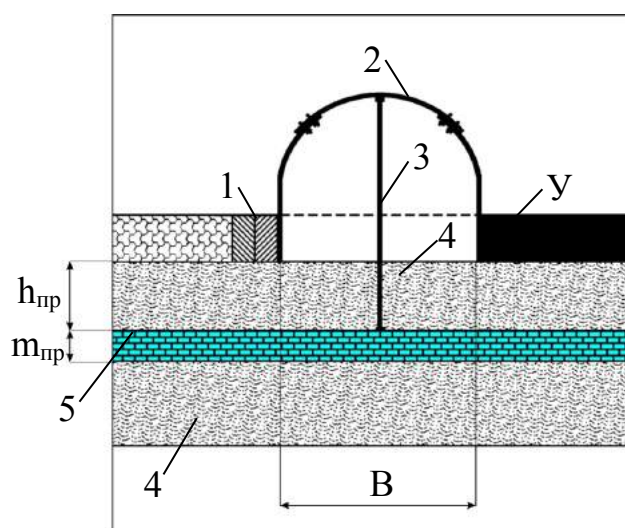


Рис. 3.6. Расчетная схема для определения величины смещений пород почвы:

- 1 – жесткое охранное сооружение;
- 2 – арочная крепь выработки;
- 3 – упорно-лежневая крепь усиления;
- 4 – слабые слои пород почвы;
- 5 – прочный слой пород почвы;
- У – угольный пласт

Параметры материала охранного сооружения были заданы на основании технических характеристик применяемого материала бетона: модуль упругости  $E=40 \times 10^3$  МПа; объёмный вес  $\gamma_{охр}=23000$  Н/м<sup>3</sup>; предел на одноосное сжатие  $\sigma_{сж}=20$  МПа; предел на одноосное растяжение  $\sigma_p=2$  МПа; коэффициент Пуассона  $\mu=0,18$ . Материал основной крепи и упорно-лежневой крепи усиления принимался в виде стали марки Ст5пс, с соответствующими характеристиками прочности и пластичности. Горное давление для глубины 1000 м рассчитывалось согласно формуле (2.24). Характеристики пород приведены в табл. 2.4 раздела 2.

Глубина расположения выработки, вмещающие породы кровли и основной почвы, толщина угольного пласта и параметры материала жесткого охранного сооружения не изменялись и были приняты в эксперименте постоянными.

При реализации матрицы планирования была проведена рандомизация. В качестве переменных  $X$ , влияющих на смещения почвы выработки  $Y$  были выбраны следующие факторы:  $X_1$  – глубина залегания прочного слоя -  $h_{пр}$ ;  $X_2$  – толщина слоя -  $m_{пр}$ ;  $X_3$  – тип текстур пород почвы с прочностью слоя -  $\sigma_{сж}^n$ :  $k_R^I=0,17 \div 1,50$  ( $\sigma_{сж}^n=60$  МПа);  $k_R^{II}=0,25 \div 2,25$  ( $\sigma_{сж}^n=90$  МПа);  $k_R^{III}=0,33 \div 3,00$  ( $\sigma_{сж}^n=120$  МПа).

Каждый фактор принимает два значения – минимальное и максимальное, т.е. варьируется на двух уровнях, верхнем и нижнем. Значения исследуемых уровней варьирования факторов и его интервалы представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Значения уровней варьирования исследуемых факторов

Показатели	Факторы		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Интервал варьирования	0,1В	0,1В	30 (I тип текстур)
Верхний уровень (+)	0	0,1В	60 (II тип текстур)
Нижний уровень (-)	0,5В	0,5В	120 (III тип текстур)

Уравнение регрессии для линейной модели от трех факторов:

$$Y=k_0+k_1X_1+k_2X_2+k_3X_3 \quad (3.9)$$

Исследуется влияние 3-х факторов, поэтому общее число опытов  $N=2^3=8$ . Основные коэффициенты уравнения регрессии в матрице планирования экспериментов по верхнему и нижнему уровню исследуемых факторов без мероприятий и с их применением, показаны в таблицах 3.2-3.3 соответственно.

Для определения значимости коэффициентов регрессии для выявления влияния на отклик отдельных факторов экспериментальных данных проверяются на адекватность. Для этого вычисляется оценка дисперсии адекватности:

$$S^2(k_i) = \frac{S^2(Y)}{N} = \frac{0,58}{8} = 0,072 \quad (3.10)$$

Дисперсия  $S^2(Y) = 0,58$  была вычислена на основе результатов дополнительных экспериментов [160, 161]. Значимость коэффициентов регрессии определяется по критерию Стьюдента  $t$ :

$$R_i > tS(k_i) \quad (3.11)$$

Для 5% уровня значимости оказывается значимый только коэффициент  $k_3$ , для 10% только  $k_1, k_2$ .

Таблица 3.2.

Матрица планирования эксперимента и значения коэффициентов регрессии для опытов без мероприятий по почве и кровле выработки

№ опытов	по почве				по кровле			
	Факторы			Y	Факторы			Y
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
1	-	-	-	8,830	-	-	-	17,190
2	+	-	-	9,230	+	-	-	17,500
3	-	+	-	8,227	-	+	-	17,780
4	+	+	-	9,250	+	+	-	18,510
5	-	-	+	8,116	-	-	+	17,910
6	+	-	+	9,334	+	-	+	18,520
7	-	+	+	8,227	-	+	+	17,710
8	+	+	+	9,251	+	+	+	18,510
Коэфф. регрессии k <sub>i</sub>	0,458	-0,069	0,076	8,808	0,307	0,174	-0,209	17,954

Таблица 3.3.

Матрица планирования эксперимента и значения коэффициентов регрессии для опытов с мероприятиями по почве и кровле выработки

№ опытов	по почве				по кровле			
	Факторы			Y	Факторы			Y
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
1	-	-	-	8,130	-	-	-	16,700
2	+	-	-	9,200	+	-	-	17,200
3	-	+	-	8,130	-	+	-	16,700
4	+	+	-	9,111	+	+	-	17,190
5	-	-	+	8,020	-	-	+	16,700
6	+	-	+	9,221	+	-	+	17,190
7	-	+	+	8,123	-	+	+	16,550
8	+	+	+	9,224	+	+	+	17,190
Коэфф. регрессии k <sub>i</sub>	0,282	0,087	-0,087	8,640	0,265	-0,020	0,020	16,928



Адекватность представления результатов экспериментов проверяется по критерию Фишера. Для этого вычислена дисперсия:

$$S_{ag}^2 = \frac{\sum_{j=2}^N y_j^2 - N \sum_{i=0}^N k_i^2}{N - k - 1} = 1,37 \quad (3.12)$$

где  $i, j$  – номера факторов эксперимента.

Дисперсионное отношение:

$$F = S_{ag}^2 : S^2(y) = 2,35 \quad (3.13)$$

Для 5% уровня значимости и  $f_1 = 2, f_2 = 3, F_T = 9,55$ .

Так как  $F < F_T$ , то уравнение адекватно описывает результаты экспериментов.

Таким образом согласно условиям проведения экспериментов, в программном комплексе SolidWorks Simulation была проведена серия опытов отчет, которых показан на рисунке Л.2 Приложения Л и результат решения на рисунке 3.7.

По полученным решениям в SolidWorks Simulation (рис. 3.7а,б) при помощи инструмента «зондирование» определялись значения смещений по центру выработки почвы  $U_{пр}$  и кровли  $U_{кр}$  без мероприятий (рис. 3.7в) и с их применением (рис. 3.7г).

Результаты полученных в модели смещений по почве и кровле выработки без мероприятий и с их применением приведены в таблицах Л.1-Л.2 Приложения Л соответственно.

По полученным данным окончательно определялись коэффициенты не только для уравнения регрессии, но и для уравнения, отражающего взаимодействия факторов в виде:

$$U_{кр}^B, U_{пр}^B = k_0^B + k_1^B h_{пр} + k_2^B m_{пр} + k_3^B \sigma_{сж}^п + k_4^B h_{пр} m_{пр} + k_5^B h_{пр} \sigma_{сж}^п + k_6^B m_{пр} \sigma_{сж}^п \quad (3.14)$$

$$U_{кр}^M, U_{пр}^M = k_0^M + k_1^M h_{пр} + k_2^M m_{пр} + k_3^M \sigma_{сж}^п + k_4^M h_{пр} m_{пр} + k_5^M h_{пр} \sigma_{сж}^п + k_6^M m_{пр} \sigma_{сж}^п \quad (3.15)$$

где  $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$  – коэффициенты регрессии с верхними индексами «М» и «Б» используемые для расчета смещений соответственно при использовании и без применения мероприятий и зависящие от горно-геологических и технологических условий, основными из которых являются: тип текстуры пород, способ охраны выработки и т.д.

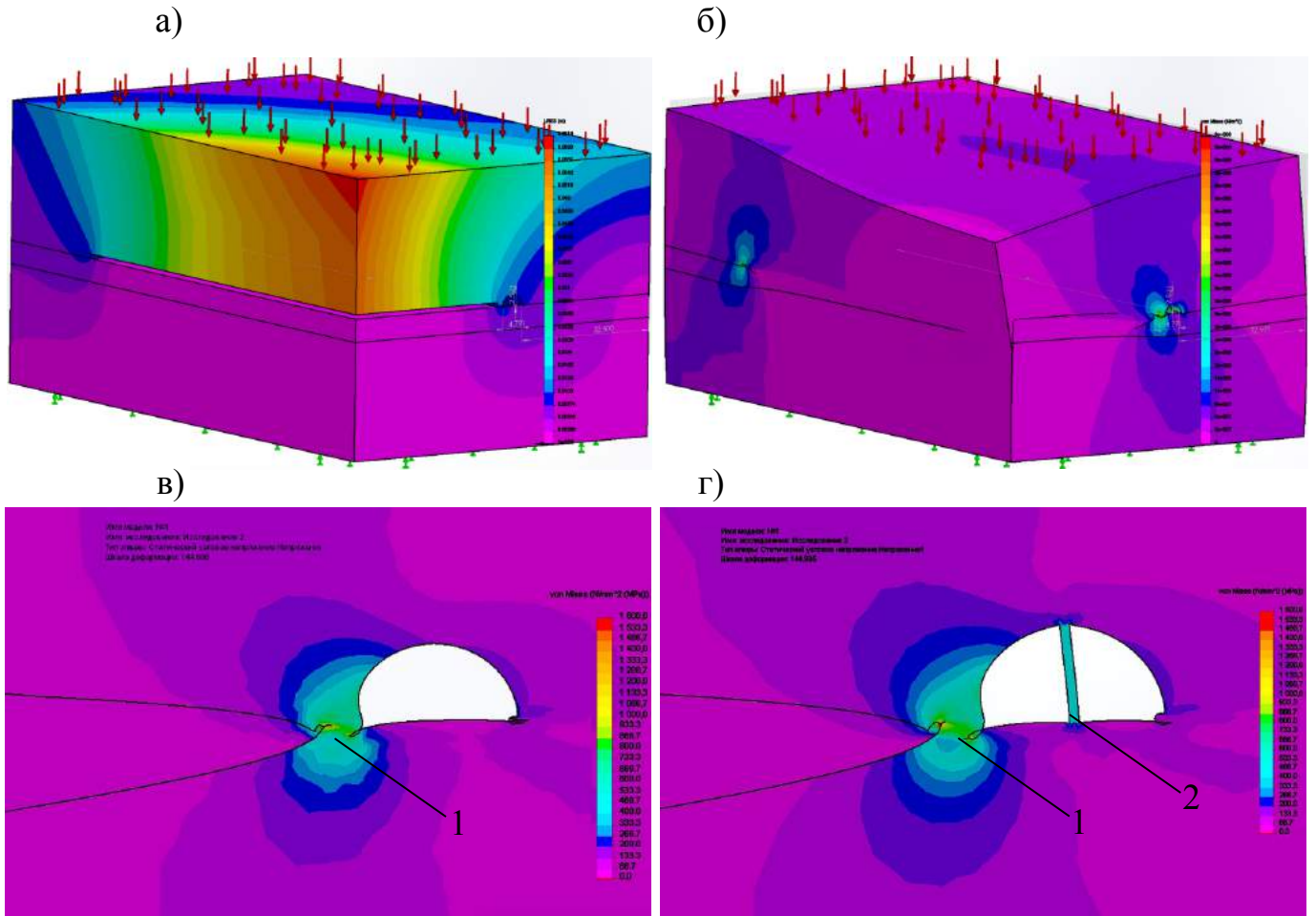


Рис. 3.7. Результат решения в программном комплексе SolidWorks Simulation моделируемого массива: а) напряжений, б) деформаций; разрез выработки в моделируемом массиве: в) без мероприятий, г) с применением системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи», где показаны концентрации напряжений от: 1 – охранного сооружения, 2 – крепи усиления

Полученные расчетные смещения уравнений регрессии без мероприятий:

- кровли:

$$U_{кр}^B = 0,1693 + 0,265h_{пр} - 0,0199m_{пр} - 0,0002\sigma_{сж}^n - 0,0053h_{пр}m_{пр} - 0,00053h_{пр}\sigma_{сж}^n + 0,00004m_{пр}\sigma_{сж}^n$$

- почвы:

$$U_{пр}^B = 0,1795 + 0,307h_{пр} - 0,0174m_{пр} - 0,0002\sigma_{сж}^n - 0,0534h_{пр}m_{пр} - 0,000645h_{пр}\sigma_{сж}^n + 0,000365m_{пр}\sigma_{сж}^n \quad (3.16)$$

(3.17)

На рисунке 3.8 показаны графики полученных зависимостей (3.16-3.17) смещений кровли и почвы моделируемой выемочной выработки без мероприятий от толщины  $m_{пр}$  и глубины залегания  $h_{пр}$  прочного слоя от подошвы выработки для трех типов текстур пород почвы  $k_R^I$  ( $\sigma_{сж}^n = 60$  МПа),  $k_R^{II}$  ( $\sigma_{сж}^n = 90$  МПа),  $k_R^{III}$  ( $\sigma_{сж}^n = 120$  МПа).

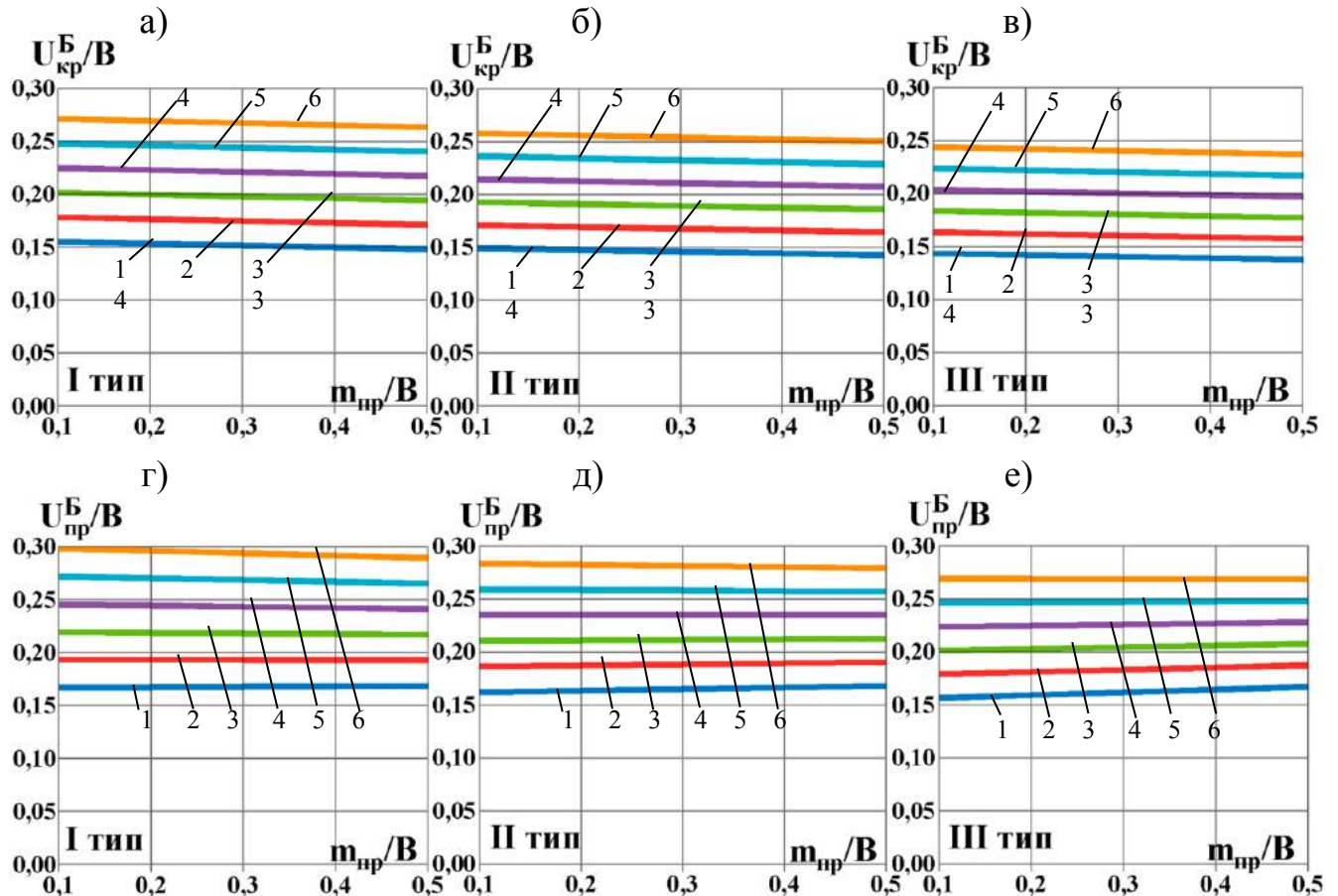


Рис. 3.8. Графики зависимости смещений кровли (а,б,в) и почвы (г,д,е) моделируемой выемочной выработки без мероприятий от толщины прочного слоя  $m_{пр}$  для типа текстур пород почвы: а,г) I-й тип  $k_R^I$  ( $\sigma_{сж}^п=60$  МПа); б,д) II-й тип  $k_R^{II}$  ( $\sigma_{сж}^п=90$  МПа); в,е) III-й тип  $k_R^{III}$  ( $\sigma_{сж}^п=120$  МПа); при следующих глубинах залегания прочного слоя  $h_{пр}$  от подошвы выработки: 1 (—) —  $h_{пр}=0$ ; 2 (—) —  $h_{пр}=0,1В$ ; 3 (—) —  $h_{пр}=0,2В$ ; 4 (—) —  $h_{пр}=0,3В$ ; 5 (—) —  $h_{пр}=0,4В$ ; 6 (—) —  $h_{пр}=0,5В$

Полученные расчетные смещения уравнений регрессии от внешнего воздействия системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи»:

- кровли:

$$U_{кр}^M = 0,1121 + 0,45h_{пр} - 0,242m_{пр} - 0,0007\sigma_{сж}^п - 0,0123h_{пр}m_{пр} - 0,0033h_{пр}\sigma_{сж}^п + 0,00381m_{пр}\sigma_{сж}^п$$

- почвы:

$$U_{пр}^M = 0,0405 + 0,966h_{пр} + 0,2m_{пр} + 0,0018\sigma_{сж}^п + 0,3663h_{пр}m_{пр} - 0,0076h_{пр}\sigma_{сж}^п - 0,00424m_{пр}\sigma_{сж}^п$$

(3.18)

(3.19)

Аналогично на рисунке 3.9 показаны графики зависимостей (3.18-3.19) смещений кровли и почвы моделируемой выемочной выработки от внешнего воздействия системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи».

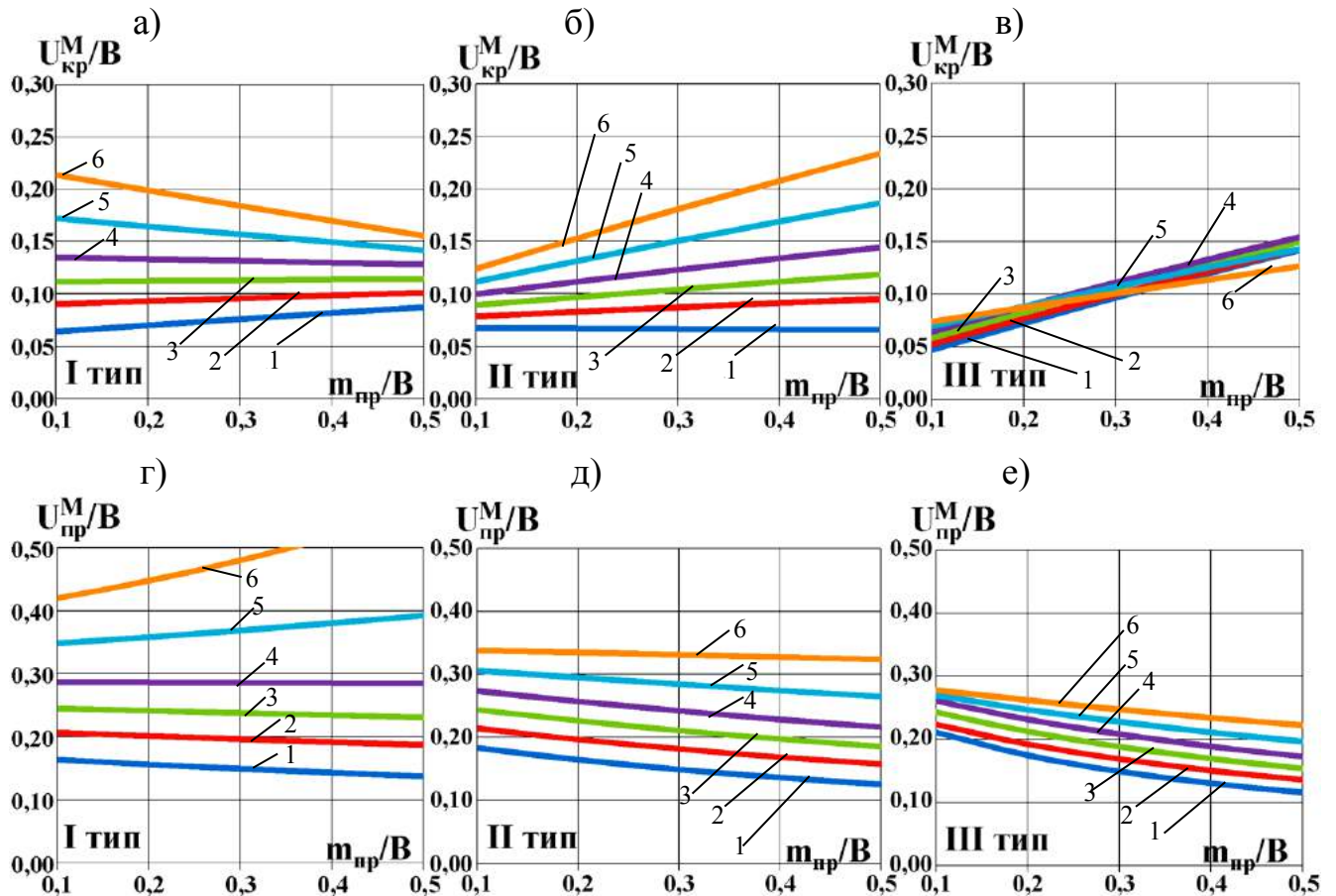


Рис. 3.9. Графики зависимости смещений кровли (а,б,в) и почвы (г,д,е) моделируемой выемочной выработки от внешнего воздействия системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» от толщины прочного слоя  $m_{пр}$  для типа текстур пород почвы: а,г) I-й тип  $k_R^I$  ( $\sigma_{сж}^n=60$  МПа); б,д) II-й тип  $k_R^{II}$  ( $\sigma_{сж}^n=90$  МПа); в,е) III-й тип  $k_R^{III}$  ( $\sigma_{сж}^n=120$  МПа); при следующих глубинах залегания прочного слоя  $h_{пр}$  от подошвы выработки: 1 (—) –  $h_{пр}=0$ ; 2 (—) –  $h_{пр}=0,1В$ ; 3 (—) –  $h_{пр}=0,2В$ ; 4 (—) –  $h_{пр}=0,3В$ ; 5 (—) –  $h_{пр}=0,4В$ ; 6 (—) –  $h_{пр}=0,5В$

Эффективность предлагаемого способа, оценивалась с помощью коэффициента –  $k_{э}$ , определяемого по формуле:

$$k_{э} = \frac{U_{пр}^B}{U_{пр}^M} \quad (3.20)$$

где  $U_{пр}^M$ ,  $U_{пр}^B$  – смещения пород почвы соответственно с применением мероприятий по обеспечению устойчивости почвы и без их применения.

В таблице Л.3 Приложения Л рассчитаны значения коэффициента эффективности  $k_{э}$  от внешнего воздействия системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» от толщины  $m_{пр}$  и глубины залегания  $h_{пр}$  прочного слоя от подошвы выработки для трех типов текстур пород почвы  $k_R^I$ ,  $k_R^{II}$ ,  $k_R^{III}$ .

На рисунке 3.10 показаны графики зависимостей коэффициента эффективности  $k_3$  от толщины прочного слоя и глубины его залегания от почвы из которых видно, что при значениях  $k_3 < 1$  применение предлагаемого способа не эффективно, а при значениях  $k_3 > 1$  – эффективно.

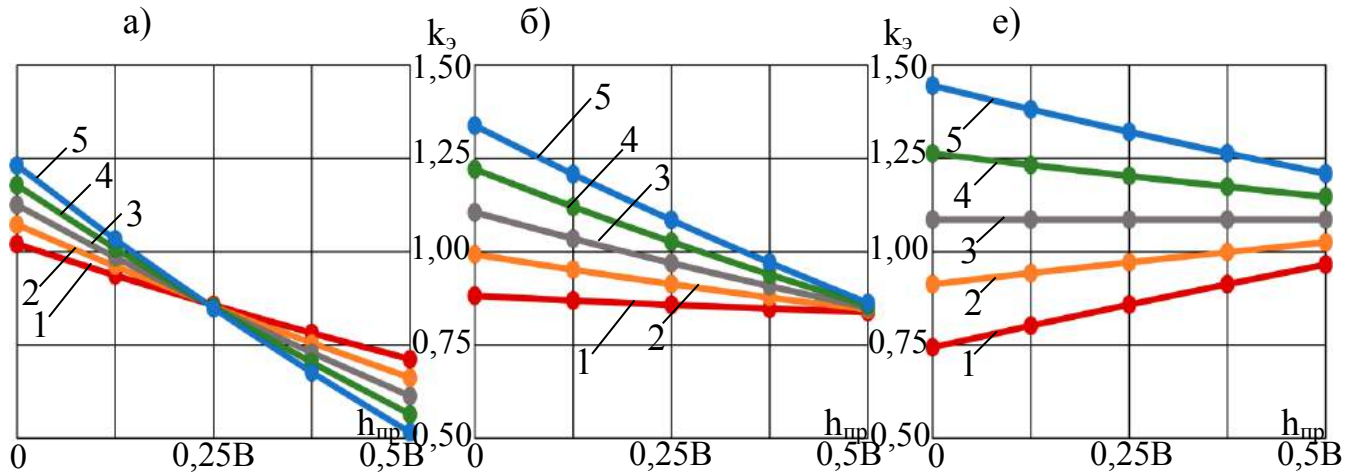


Рис. 3.10. Графики зависимостей коэффициента эффективности  $k_3$  для типов текстур пород почвы: а) I-й тип  $k_R^I$ ; б) II-й тип  $k_R^{II}$ ; в) III-й тип  $k_R^{III}$ ; в зависимости от глубины расположения  $h_{пр}$  от подошвы выработки при следующих сочетаниях толщины прочного слоя: 1(—●—) –  $m_{пр}=0,1B$ ; 2(—●—) –  $m_{пр}=0,2B$ ; 3(—●—) –  $m_{пр}=0,3B$ ; 4(—●—) –  $m_{пр}=0,4B$ ; 5(—●—) –  $m_{пр}=0,5B$

Из рисунка 3.10 следует, что система «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» эффективна  $k_3 > 1$  при внешнем воздействии на слой со следующими сочетаниями его параметров толщины  $m_{пр}$  и глубины расположения от подошвы выработки  $h_{пр}$ :

– для первого типа текстур пород почвы  $k_R^I=0,17 \div 1,50$  ( $\sigma_{сж}^n=60$  МПа) при  $m_{пр}=0,1B - h_{пр} < 0,03B$ ;  $m_{пр}=0,2B - h_{пр} < 0,08B$ ;  $m_{пр}=0,3B - h_{пр} < 0,11B$ ;  $m_{пр}=0,4B - h_{пр} < 0,14B$ ;  $m_{пр}=0,5B - h_{пр} < 0,15B$ .

– для второго типа текстур пород почвы  $k_R^{II}=0,25 \div 2,25$  ( $\sigma_{сж}^n=90$  МПа) при  $m_{пр}=0,2B - h_{пр}=0$ ;  $m_{пр}=0,3B - h_{пр} < 0,20B$ ;  $m_{пр}=0,4B - h_{пр} < 0,29B$ ;  $m_{пр}=0,5B - h_{пр} < 0,35B$

– для третьего типа текстур пород почвы  $k_R^{III}=0,33 \div 3,00$  ( $\sigma_{сж}^n=120$  МПа) при  $m_{пр}=0,1B - h_{пр} > 0,57B$ ,  $m_{пр}=0,2B - h_{пр} > 0,38B$ ;  $m_{пр}=0,4B - h_{пр} < 1,13B$ ;  $m_{пр}=0,5B - h_{пр} < 0,94B$ .

При этом смещения пород почвы при внешнем воздействии на прочный слой в условиях выемочных выработок для I-го типа текстур –  $1,05 \div 1,23$ , II-го типа текстур –  $1,10 \div 1,34$ , III-го типа текстур –  $1,11 \div 1,45$  раз ниже, чем без внешнего воздействия на него.

Таким образом, по результатам аналитических исследований установлено, что влияние прочного слоя на смещения пород почвы в условиях выемочных выработок глубоких шахт наблюдалось на расстоянии не более  $0,5B$  от почвы выработки и его толщине равной не менее  $0,1B$ , при максимальном эффективном воздействии предлагаемого способа для второго  $k_R^{II}$  и третьего  $k_R^{III}$  типов текстуры. При толщине прочного слоя менее  $0,1B$  и глубине его залегания более  $0,5B$  применение предлагаемого способа не эффективно.

### **3.3 Методика и результаты лабораторных исследований механизма работы системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи»**

Целью данного этапа исследований является определение эффективности внешнего воздействия при установке системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» на смещения пород почвы при наличии прочного слоя с толщиной  $m_{пр}$  и глубиной залегания от подошвы выработки  $h_{пр}$  для трех типов текстур пород почвы  $k_R^I$ ,  $k_R^{II}$ ,  $k_R^{III}$  методом физического моделирования механических процессов вокруг выемочной выработки.

Лабораторные исследования выполнялись в два этапа. На первом этапе – определялись смещения пород почвы без мероприятий  $U_{пр}^B$  в выемочной выработке при наличии прочного слоя с охранным сооружением. На втором этапе – определялись смещения пород почвы в выемочной выработке с мероприятиями  $U_{пр}^M$  при наличии прочного слоя с охранным сооружением совместно с внешним воздействием системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи».

При этом моделировались геомеханические процессы характерные для выемочной выработки [144-146], следующим образом:

1) после полной закатки модели она дважды пригружалась давлением 0,24 МПа, каждый раз на сутки, для исключения пустот в толще эквивалентного материала, образованных при закатке;

2) проведение выработки производилось путем извлечения эквивалентного материала заходками по 1 см и установкой рам крепи с шагом 1 рам/см. Арочная крепь моделировалась конструкцией из трех элементов – верхняка и двух ножек, описанных в разделе 2.3.1.

3) после проведения выработки в толще пород была начата выемка пласта угля. Вынимаемый угольный пласт моделировался капроновым канатом, а подвигание лавы имитировалось последовательным извлечением каната из модели через заранее уложенную выдвижную трубу на величину одного суточного подвигания очистного забоя. Выемка угля производилась на всю длину модели, шириной равной диаметру каната, в направлении от выработки к границе моделируемого участка;

4) выемка каждой полосы сопровождалась креплением лавы: возведением охранного сооружения из деревянного бруска, а применяемая в натуре бутовая полоса имитировалась в модели пенопластом.

4.1) для второго этапа моделирования с мероприятиями, воздействие системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» от упорно-лежневой крепи усиления имитировалось продольно расположенного лежнями из полосок медных отрезков прямоугольного сечения, которые укладывались вдоль по центру выработки на прочный слой и фиксировались на нем крепью усиления из податливых пластиковых упорных стоек в верхняк крепи выработки с распором работающим по принципу поршневого штока.

5) после этого, модель нагружалась ступенчато и производились измерения величин смещений почвы методом фотофиксации, описанного в разделе 2.3.1.

Размеры материалов были подобраны с учетом масштаба моделирования, которые сведены в таблицу 3.4.

Параметры эквивалентного материала

Вид моделируемого элемента в выемочной выработке	эквивалентный материал	усадка, %	в модели, Д×Ш×В, см	в натуре, Д×Ш×В, м
Вынимаемый угольный пласт	капроновый канат	10	38×3,3×3,3	19×1,65×1,65
Бутовая полоса	пенопласт	50	35×3,3×3,3	17,5×1,65×1,65
Охранное сооружение	деревянный брусок	2	3,0×3,3×3,3	1,5×1,65×1,65
Упорно-лежневая крепь усиления	упорная стойка	33*	0,3×0,3×8,0	0,15×0,15×4,0
	лежни	0	0,5×0,3×0,1	1×0,6×10

\*податливость, после исчерпания податливости работа стойки в жестком режиме

Причем на первом и втором этапе моделировались одинаковые условия аналогично методике, представленной в разделе 2.3.1, из эквивалентных материалов для трех типов текстур пород почвы, представленных в таблице 2.9. Затем сравнивались полученные результаты смещения пород почвы на двух этапах и делались выводы об эффективности работы предложенного способа. Такой подход позволяет выявить различия в протекании процессов, которые обусловлены воздействием системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи», так как все другие влияющие факторы остаются неизменными.

Результаты моделирования без мероприятий и с предлагаемым способом приведены в таблицах М.1-М.2 Приложения М соответственно.

Эффективность предлагаемого способа, оценивалась с помощью коэффициента эффективности  $k_3$ , определяемого по формуле (3.20), расчет которого приведен в таблице М.3 Приложения М.

Состояние выемочных выработок с применением мероприятий и без их применения для третьего типа текстур пород в моделях №9,12 на момент начала и окончания моделирования показаны на рисунке 3.11.



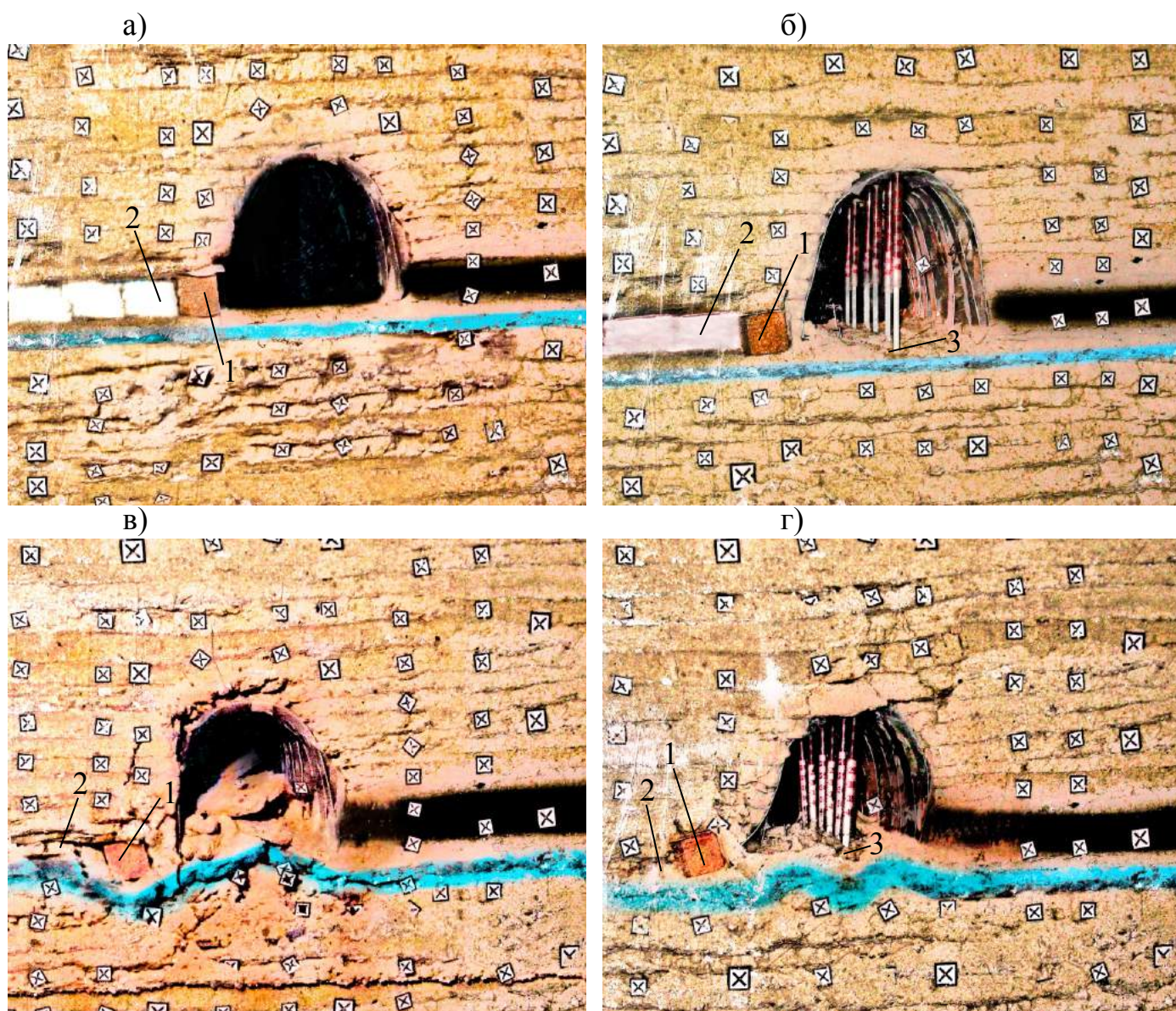


Рис. 3.11. Общее состояние выработок в моделях в начале (а,б) и конце (в,г) моделирования: а,в – без мероприятий; б,г – с мероприятиями; со следующими моделируемыми элементами: 1 – охранный сооружение; 2 – бутовая полоса; 3 – упорно-лежневая крепь усиления контактирующая с прочным слоем почвы

На рисунке 3.12 представлены графики зависимостей смещений почвы выемочной выработки в модели без мероприятий  $U_{\text{пр}}^{\text{в}}$  при наличии прочного слоя толщиной  $m_{\text{пр}}$  и глубиной залегания от подошвы выработки  $h_{\text{пр}}$  для трех типов текстур пород почвы  $k_{\text{R}}^{\text{I}}$ ,  $k_{\text{R}}^{\text{II}}$ ,  $k_{\text{R}}^{\text{III}}$  от нагрузки в модели.

Анализ, представленных графиков на рисунке 3.12, также позволяет выделить два характерных этапа деформирования пород почвы описанных в разделе 2.3.2.

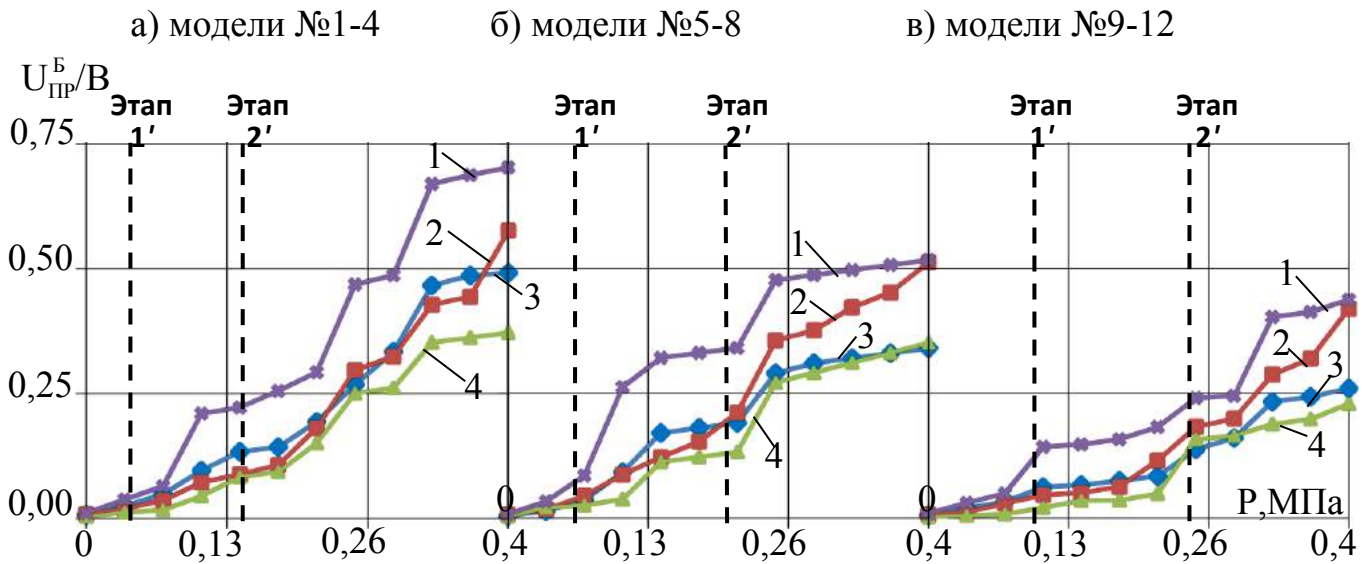


Рис. 3.12. Графики зависимостей относительных смещений пород почвы  $U_{пр}^B / B$  от величины давления в моделях Р без мероприятий для трех типов текстур: а) I тип  $k_R^I$ ; б) II тип  $k_R^{II}$ ; в) III тип  $k_R^{III}$ ; при следующих сочетаниях толщины прочного слоя  $m_{пр}$  и глубины расположения его от подошвы выработки  $h_{пр}$ : 1 (—◆—) – при  $m_{пр}=0,1B$  и  $h_{пр}=0,1B$ ; 2 (—■—) – при  $m_{пр}=0,1B$  и  $h_{пр}=0,3B$ ; 3 (—◆—) – при  $m_{пр}=0,3B$  и  $h_{пр}=0,1B$ ; 4 (—▲—) – при  $m_{пр}=0,3B$  и  $h_{пр}=0,3B$

Сравнение результатов смещений почвы одиночной выработки в модели, представленных графиками на рисунке 2.13, показывает, что этапы начала и конца «экранирующего эффекта» прочного слоя для выемочной выработки наступают при меньших значениях нагрузки в модели, что объясняется включением в работу охранного сооружения.

Так в момент возрастающего давления Р в модели происходит постепенное обжатие и уплотнение слоев между охранном сооружением и прочным слоем, при этом смещения пород почвы возрастают постепенно с последующим скачком и стабилизацией смещений почвы на участке  $P=0 \div 1$  кгс/см<sup>2</sup> для трех типов текстур пород почвы, что соответствует включению охранного сооружения в работу – этап 1.

Охранное сооружение создает отпор, воздействует на прочный слой через вышележащие слои и стабилизирует процесс складкообразования. Однако при дальнейшем росте давления в модели происходит скачкообразное увеличение

смещений почвы за счёт изгиба и разлома прочного слоя в результате противоосных нагрузжений, вызванных с одной стороны разрушением и увеличением в объеме пород лежащих ниже него – этап 2.

При этом процесс складкообразования для трех типов текстур пород почвы, стабилизируются на этапах соответствуют следующим нагрузкам в модели:  $k_R^I$  –  $P=0,3\div 1,4$  кгс/см<sup>2</sup> (0,03÷0,14 МПа),  $k_R^{II}$  –  $P=0,6\div 2,0$  кгс/см<sup>2</sup> (0,06÷0,20 МПа),  $k_R^{III}$  –  $P=1,0\div 2,4$  кгс/см<sup>2</sup> (0,10÷0,24 МПа).

Аналогично строились графики зависимостей смещений почвы выемочной выработки в модели с мероприятиями  $U_{пр}^M$ , представленные на рисунке 3.13, для трех типов текстур пород почвы с толщиной прочного слоя  $m_{пр}$  и глубиной залегания от подошвы выработки  $h_{пр}$  от нагрузки в модели.

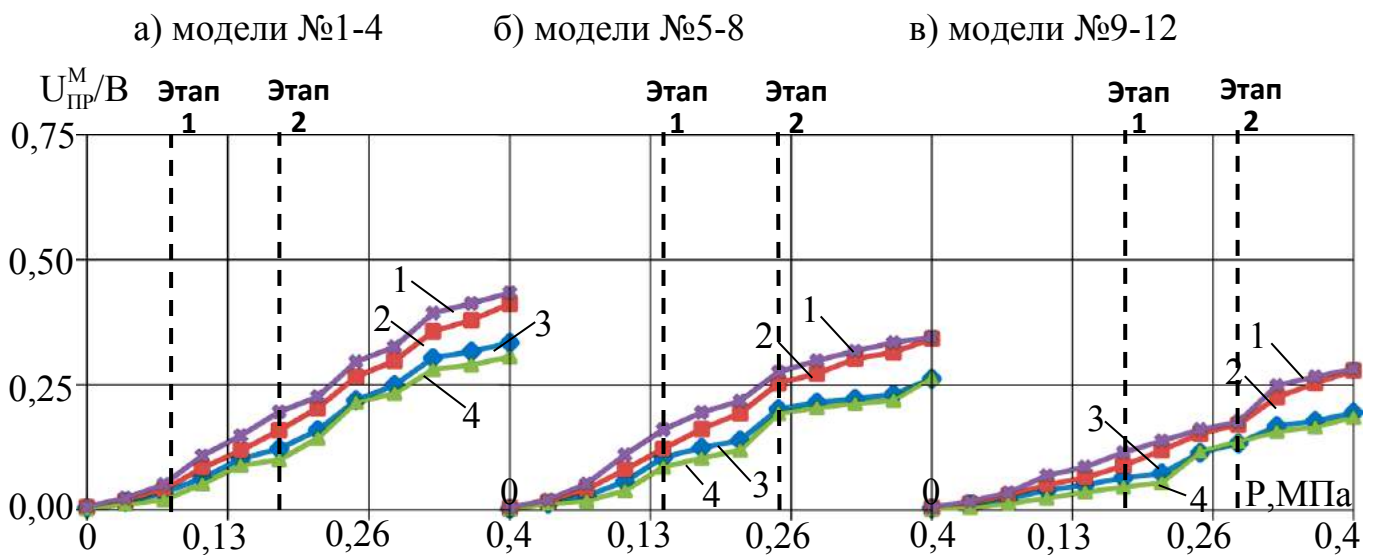


Рис. 3.13. Графики зависимостей относительных смещений пород почвы  $U_{пр}^M/V$  от величины давления в моделях  $P$  при использовании предлагаемого способа для трех типов текстур: а) I тип  $k_R^I$ ; б) II тип  $k_R^{II}$ ; в) III тип  $k_R^{III}$ ; при следующих сочетаниях толщины прочного слоя  $m_{пр}$  и глубины расположения от подошвы выработки  $h_{пр}$ : 1 (—◆—) – при  $m_{пр}=0,1В$  и  $h_{пр}=0,1В$ ; 2 (—■—) – при  $m_{пр}=0,1В$  и  $h_{пр}=0,3В$ ; 3 (—◆—) – при  $m_{пр}=0,3В$  и  $h_{пр}=0,1В$ ; 4 (—▲—) – при  $m_{пр}=0,3В$  и  $h_{пр}=0,3В$

Из рисунка 3.13 видно, что в модели при использовании предлагаемого способа интенсивность смещений почвы выработки снизилась в результате внешнего воздействия, создаваемого системой «прочный слой – крепь усиления –

рама основной крепи», изменило характер смещений на зафиксированных этапах, который имеет различный эффект для трех типов текстур пород почвы в сравнении с полученными результатами без мероприятий (см. рис. 3.11).

При этом использование предлагаемого способа изменило процесс складкообразования для трех типов текстур пород почвы на этапах стабилизации соответствующих следующим нагрузкам в модели:  $k_R^I - P = 0,6 \div 2,0$  кгс/см<sup>2</sup> (0,06 ÷ 0,20 МПа),  $k_R^{II} - P = 1,4 \div 2,5$  кгс/см<sup>2</sup> (0,14 ÷ 0,25 МПа),  $k_R^{III} - P = 2,0 \div 2,8$  кгс/см<sup>2</sup> (0,20 ÷ 0,28 МПа).

Характер смещений почвы вместе с прочным слоем возможно оценить только путем срезов почвы в модели. Складкообразование пород почвы при наличии прочного слоя с предлагаемым способом и без него показано на срезах выработки в модели №12, представленных на рисунке 3.14.

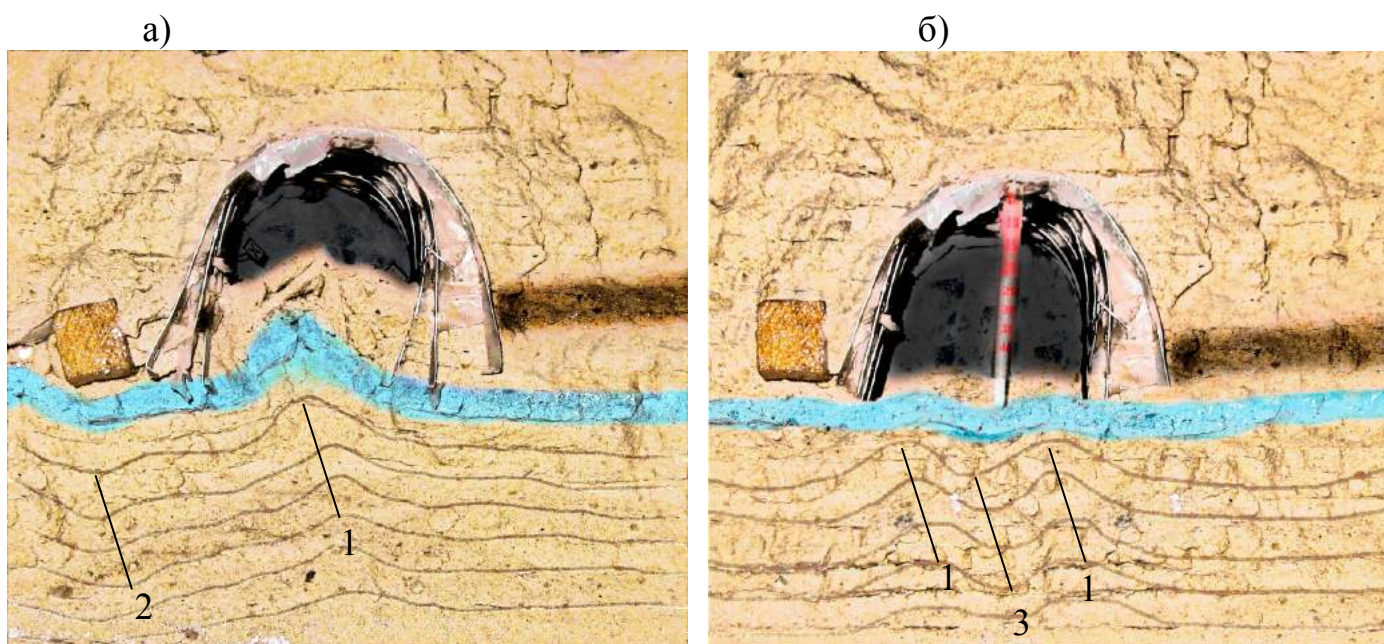


Рис. 3.14. Срезы почвы выемочной выработки в отработанных модели №12: а) без мероприятий; б) с мероприятиями, со складкообразованием: 1 – нижележащих слоев; 2 – под охранным сооружением; 3 – от внешнего воздействия системой «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи»

Из рисунка 3.14 видно, что без предложенных мероприятий происходит разлом прочного слоя за счет складкообразования нижележащих слоев почвы 1 (см. рис. 3.14а), причем после разлома прочного слоя охранный сооружение

начинает воздействовать как штамп 2 и провоцировать дальнейший рост смещений почвы. Внешнее воздействие системой «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» 3 стабилизировало процесс складкообразования, вызванных нижележащими породами 2 (см. рис. 3.14б), а целостность прочного слоя позволило обеспечить устойчивое положение охранного сооружения.

Для оценки воздействия системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» для каждого из трех типов текстур пород почвы на рисунке 3.15 представлены графики зависимостей коэффициента эффективности  $k_3$  от величины давления в моделях Р из которых видно, что при  $k_3 > 1$ , предлагаемый способ эффективен при наличии прочного слоя  $m_{пр}$  и глубиной залегания от подошвы выработки  $h_{пр}$ , на соответствующих этапах: 1'-1 и 2'-2 – начало и конца «экранирующего эффекта» без мероприятий и с предлагаемым способом соответственно.

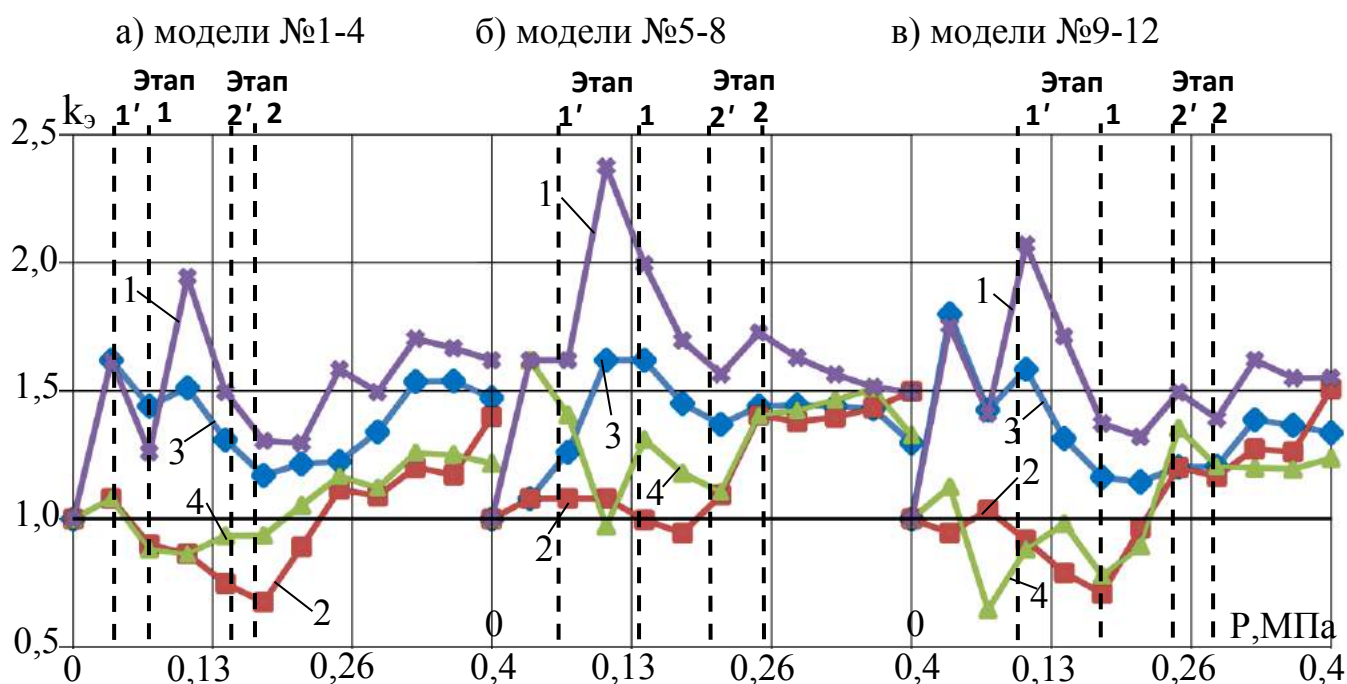


Рис. 3.15. Графики зависимостей коэффициента эффективности  $k_3$  от величины давления в моделях Р для трех типов текстур пород почвы: а) I тип  $k_R^I$ ; б) II тип  $k_R^{II}$ ; в) III тип  $k_R^{III}$ ; при следующих сочетаниях толщины  $m_{пр}$  и глубины расположения от подошвы выработки  $h_{пр}$  прочного слоя: 1 (—◆—) – при  $m_{пр}=0,1В$  и  $h_{пр}=0,1В$ ; 2 (—■—) – при  $m_{пр}=0,1В$  и  $h_{пр}=0,3В$ ; 3 (—◆—) – при  $m_{пр}=0,3В$  и  $h_{пр}=0,1В$ ; 4 (—▲—) – при  $m_{пр}=0,3В$  и  $h_{пр}=0,3В$

Анализ, представленных графиков на рисунке 3.15, показывает, что значения  $k_3$  развиваются скачкообразно, это объясняется тем, что в процессе обработки охранное сооружение и крепь усиления не сразу вступают в работу поэтому эффективность не высока, так на первом этапе 1'-1 при внешнем воздействии на прочный слой со следующими сочетаниями его параметров: при  $m_{пр}=0,1В$ ,  $h_{пр}=0,3В$  и  $m_{пр}=0,3В$ ,  $h_{пр}=0,3В$  – не эффективно  $k_3 < 1$ , при  $m_{пр}=0,1В$ ,  $h_{пр}=0,1В$  и  $m_{пр}=0,3В$ ,  $h_{пр}=0,1В$  – эффективно  $k_3 > 1$ ; на втором этапе 2'-2 для всех сочетаний параметров  $m_{пр}$  и  $h_{пр}$  прочного слоя внешние воздействие на него эффективно  $k_3 > 1$  в различной степени, это объясняется тем, что в конце второго этапа без мероприятий происходил разломом прочного слоя, однако в модели с предложенным способом поддерживался «экранирующий эффект» при больших значениях величины давления в модели, но эффективность различна.

Для оценки степени влияния параметров прочного слоя на изменение величины смещений почвы с учетом эффективности воздействия сравним в таблице 3.5, различия коэффициента эффективности  $k_3$  между тремя типами текстур пород почвы в зависимости от нагрузки в модели.

Таблица 3.5.

Значения коэффициента эффективности  $k_3$  на двух этапах  
для трех типов текстур пород почвы

Значения толщины прочного слоя $m_{пр}$ и глубины его залегания от подошвы выработки $h_{пр}$	Типы текстур пород почвы					
	I-й тип $k_R^I=0,14 \div 0,86$ ( $\sigma_{сж}^n=60$ МПа)		II-й тип $k_R^{II}=0,22 \div 1,29$ ( $\sigma_{сж}^n=90$ МПа)		III-й тип $k_R^{III}=0,33 \div 1,70$ ( $\sigma_{сж}^n=120$ МПа)	
	Этап 1	Этап 2	Этап 1	Этап 2	Этап 1	Этап 2
$\frac{m_{пр}}{В} = 0,1 ; \frac{h_{пр}}{В} = 0,1$	1,46	1,61	1,87	1,55	1,46	1,57
$\frac{m_{пр}}{В} = 0,1 ; \frac{h_{пр}}{В} = 0,3$	0,82	1,22	1,11	1,43	0,97	1,35
$\frac{m_{пр}}{В} = 0,3 ; \frac{h_{пр}}{В} = 0,1$	0,93	1,21	1,19	1,43	1,04	1,21
$\frac{m_{пр}}{В} = 0,3 ; \frac{h_{пр}}{В} = 0,3$	1,33	1,42	1,51	1,44	1,21	1,36

Из таблицы 3.5 видно, что значения коэффициента эффективности  $k_3$  работы системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» при наличии прочного слоя толщиной  $m_{пр}$  и глубиной залегания от подошвы выработки  $h_{пр}$  для трех типов текстур пород почвы  $k_R^I$ ,  $k_R^{II}$ ,  $k_R^{III}$  в целом эффективно –  $k_3 > 1$ .

Однако применение внешнего воздействия с помощью упорно-лежневой крепи усиления на 1-ом этапе для некоторых случаев не эффективно –  $k_3 < 1$ .

Также на зависимостях (см. рис. 3.15) есть участки, в которых по графикам можно выделить характерные этапы в зависимости от нагрузки для толщины  $m_{пр}$  и глубины расположения от подошвы выработки  $h_{пр}$  прочного слоя, где  $k_3 < 1$ . Это объясняется тем, что при применении внешнего воздействия на прочный слой, происходит прогиб слоев и выдавливание почвы в выработку.

С дальнейшим ростом нагрузки  $P > 0,28$  МПа (конец второго этапа) происходит уплотнение слоев под прочным слоем и охранным сооружением в зависимости от глубины расположения от подошвы выработки  $h_{пр}$ . После чего фактические значения развиваются скачкообразно, это объясняется тем, что в процессе отработки меняются условия предельного равновесия сил, действующих со стороны слоев почвы под охранным сооружением. На зависимостях (см. рис. 3.15) от нагрузки выше  $P > 0,28$  МПа есть участки, в которых значения  $k_3$  возрастают, объясняющееся тем, что в конце второго этапа при разломе прочного слоя происходит самозаклин его частей в почве выработки, тем самым смещение почвы выработки меньше, чем в модели без мероприятий.

В свою очередь эффективность воздействия системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» будет зависеть от возможности использования несущей способности прочного слоя в текстуре пород почвы выемочной выработки. Прочный слой испытывает противоосные нагружения, вызванные с одной стороны разрушением и увеличением в объеме пород, лежащих ниже его, а с другой – посредством передачи нагрузки смещающихся пород кровли через охранный сооружение и упорно-лежневую крепь усиления при включении их в совместную работу.

Деформационный процесс от внешнего воздействия по центру на прочный слой почвы проявляется в виде прогибов его по краям (см. рис. 3.14б). Причем

внешнее воздействие может иметь как положительный эффект ( $k_3 > 1$ ) – повышать несущую способность пород слоя, проявляющую себя при большой нагрузке в модели наименьшим ростом смещений («экранирующий эффект») в сравнении, чем без мероприятий; так и отрицательный эффект ( $k_3 < 1$ ) – для  $h_{пр}=0,3В$  на первом этапе происходят большие смещения при меньшей нагрузке в сравнении, чем без мероприятий, так как при углубке упорно-лежневой крепи усиления нарушается сплошность нижележащих слоев, проявляющееся в более возрастающем характере смещений, чем в модели без мероприятий.

В зависимости от нагрузки в модели на первом этапе при глубине расположения прочного слоя от подошвы  $h_{пр}=0,1В$  с толщиной:  $m_{пр}=0,1В$  –  $k_3=1,46 \div 1,87$ ,  $m_{пр}=0,3В$  –  $k_3=1,30 \div 1,60$ , такая разница в сравнении, чем смещения почвы в модели без мероприятий, объясняется тем, что при внешнем воздействии на прочный слой повышается несущая способность за счет применения упорно-лежневой крепи усиления. Средняя же величина  $k_3$  при  $m_{пр}=0,1В$  и  $h_{пр}=0,1В$  для первого  $k_R^I$ , второго  $k_R^{II}$  и третьего  $k_R^{III}$  типов текстуры были соответственно в 1,54; 1,71 и 1,57 раза ниже, чем смещения почвы без мероприятий, объясняющееся тем, что за счет отпора прочный слой сдерживает нижележащие слои от смещений в выработку.

На втором этапе трех типов текстур пород почвы при глубине расположения прочного слоя от подошвы  $h_{пр}=0,1В$  с толщиной:  $m_{пр}=0,1В$  –  $k_3=1,8 \div 2,2$ ,  $m_{пр}=0,3В$  –  $k_3=1,5 \div 1,6$ , чем смещения почвы без мероприятий. Сравнивая смещения I-го и II-го типов текстур с III-м типом по величине  $k_3$  на первом этапе для толщин прочного слоя:  $m_{пр}=0,1В$  –  $k_3=1,5 \div 2,7$ ,  $m_{пр}=0,3В$  –  $k_3=1,3 \div 1,4$  соответственно; на втором этапе для толщин слоя:  $m_{пр}=0,1В$  –  $k_3=1,30 \div 1,60$ ,  $m_{пр}=0,3В$  –  $k_3=1,20 \div 1,30$  раз меньше соответственно. На зависимостях (см. рис. 3.15) также есть участки, по графикам, которых можно выделить участки уменьшения значения  $k_3$  с ростом нагрузки, что свидетельствует о росте смещений за счет разломе слоя.

Таким образом, влияние внешнего воздействия упорно-лежневой крепью усиления на прочный слой зависит от типа текстуры пород почвы моделируемой прочностью при следующих значениях коэффициента  $k_3$ :  $\sigma_{сж}^I=60$  МПа ( $k_R^I=0,14 \div 0,86$ ) –  $k_3=1,25$ ;  $\sigma_{сж}^{II}=90$  МПа ( $k_R^{II}=0,22 \div 1,29$ ) –  $k_3=1,34$ ;  $\sigma_{сж}^{III}=120$  МПа ( $k_R^{III}=0,33 \div 1,70$ ) –  $k_3=1,55$ .



Применение разработанного способа наиболее эффективно на втором этапе с толщиной прочного слоя  $m_{пр}=0,1В$  в почве выработки, при этом её смещения для первого  $k_R^I$ , второго  $k_R^{II}$  и третьего  $k_R^{III}$  типов текстуры были соответственно в 1,39; 1,51 и 1,74 раза ниже, чем в модели без мероприятий. Так в моделируемой выработке при отсутствии дополнительных мероприятий по обеспечению устойчивости наблюдалось интенсивное разуплотнение и выдавливание почвы с образованием породной складки.

Применение разработанного способа позволило стабилизировать процесс складкообразования за счет использования несущей способности прочного слоя путем непосредственного силового воздействия на него.

Таким образом, проведенные аналитические и лабораторные исследования позволили подтвердить эффективность применения предлагаемого способа обеспечения устойчивости пород почвы.

Для проверки полученных результатов проводились шахтные испытания разработанного способа обеспечения устойчивости выемочных выработок в условиях пород почвы при наличии в их текстуре прочного слоя.

### 3.4 Выводы по разделу

На основании инженерных решений, а также аналитических и лабораторных исследований получены следующие результаты:

1. Разработан способ поддержания выемочных выработок (Пат. 99028 Украина) и способ обеспечения устойчивости пород почвы при наличии в их текстуре прочных слоёв (Пат. 103110 Украина).

2. Разработана методика, учитывающая воздействие системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» на устойчивость почвы, что позволило обосновать область применения предложенного способа.

3. Установлено, что эффективность воздействия системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» для трех типов текстур пород почвы зависит от толщины прочного слоя его прочности и глубины его залегания от подошвы выработки.

4. Установлено, что повышение несущей способности пород за счет внешнего воздействия системой «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» обеспечивается при расположении прочного слоя от подошвы выработки шириной  $B$  на расстоянии не более  $0,3B$  для следующих типов текстур пород почвы:

– I-й тип при толщине прочного слоя не менее  $0,3B$  с прочностью более 60 МПа;

– II-й тип при толщине прочного слоя не менее  $0,2B$  с прочностью более 90 МПа;

– III-й тип при толщине прочного слоя не менее  $0,1B$  с прочностью более 120 МПа.

## РАЗДЕЛ 4

ШАХТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СПОСОБА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ  
ПОРОД ПОЧВЫ**4.1 Методика проведения шахтных испытаний**

Современная техника и технология проведения и крепления подготовительных выработок предусматривает отставание крепления от забоя выработки, в этом случае взаимодействие крепи и пород начинается на некотором расстоянии от забоя выработки, а с номинальным отпором крепь часто начинает работать в зоне влияния очистных работ.

Таким образом, основным направлением в повышении устойчивости подготовительных выработок является обеспечение своевременного взаимодействия крепей с массивами пород. При обеспечении взаимодействия геомеханической системы «породный массив – крепь» значительно снижаются смещения как при применении крепей с обычным, так и с повышенным отпором.

Опыт охраны и поддержания выемочных выработок [5-14,162-169], показывает положительное влияние отпора крепи на смещения контура выработок. Однако выбор необходимых технических решений по обеспечению устойчивости выработки осложнен узкой областью применению средств и способов охраны и поддержания выработок в различных горно-геологических условий разработки угольных шахт [170]. В связи с этим установление рациональных параметров работы системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» для заданных горно-геологических условий, имеет исключительно большое значение в обеспечении устойчивости выемочных выработок [171-172].

Эксперименты по изучению влияние отпора крепи проводились в работе [5] для различных горно-геологических условий, в том числе и в Донецко-Макеевском районе Донбасса. В проведенных экспериментах изучалось влияние отпора

установленных в выемочной выработке крепи усиления на смещения контура выработки, показано на рисунке 4.1. В качестве крепи усиления использовались гидравлические стойки с действующей нагрузкой от 60 до 240 кПа.

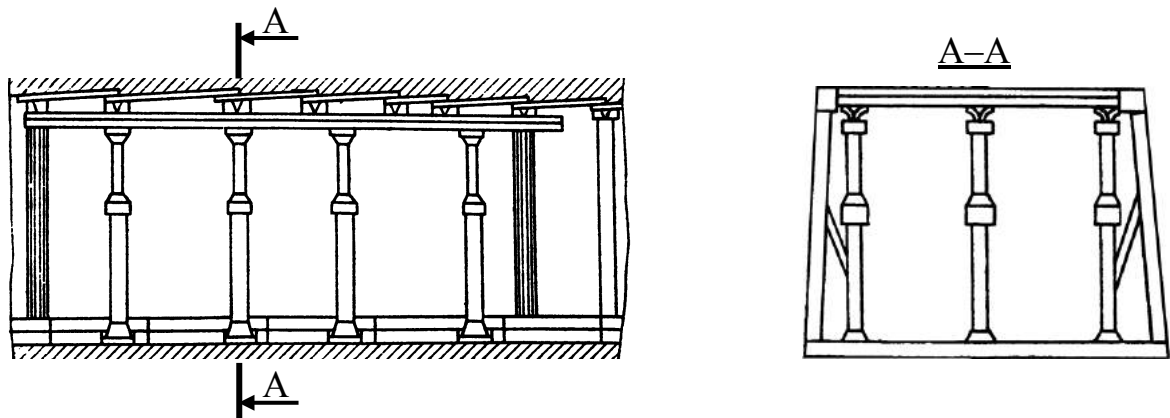


Рис. 4.1. Схема установки гидравлических стоек на экспериментальном участке при исследовании влияния отпора крепи на устойчивость выработок

В таблице 4.1, представлен анализ результатов наблюдений за перемещениями реперов по контуру выработки на шахтах Донецко-Макеевского района Донбасса от отпора крепи в 60÷240 кПа в различных зонах опорного давления.

Таблица 4.1.

Влияние величины отпора, кПа, на снижение величины смещений контура выработок в  $n$  раз от первоначального значения\*

Шахта, пласт	Зона влияния	Контрольный участок	$n = U_0/U_n$			
			60	120	180	240
им. Засядько, $m_3$	ВЗ	1,00	X	2,73	3,95	5,36
им. Абакумова, $m_5$	ВЗ	X	1,00	1,10	1,67	3,01
им. Засядько, $m_3$	ЗА	1,00	1,44	1,90	2,71	2,79
им. Абакумова, $l_4$	ЗА	X	1,00	1,19	1,43	1,92
им. Засядько, $m_3$	ЗА	1,00	X	1,61	1,74	4,35

\*X – результаты отсутствуют; ВЗ – вне зоны влияния; ЗА – зона активных смещений

Как видно из таблицы 4.1, при увеличении величины отпора крепи до 240 кПа может быть достигнуто уменьшение величины смещений пород на контуре выемочных выработок в 5 раз и более в зависимости от горно-геологических

условий. Наблюдения показали, что на сопряжении с очистным забоем при отпорах крепи 60; 120; 180 и 240 кПа уменьшило смещения пород на контуре в 1,22; 1,71; 2,30 и 3,49 раза соответственно.

Анализ результатов [5] также показывает, что на расстоянии от границ зоны временного опорного давления до 20 м впереди очистного забоя эффективна установка крепи усиления с отпором 240 кПа, а в зоне от 20 м до сопряжения с очистным забоем – крепи усиления с отпором до 180 кПа. При больших величинах смещений пород вне зоны влияния очистных работ и отпоре 240 кПа смещения пород кровли на сопряжении с лавой могут быть уменьшены до нуля. При смещениях контура выработки вне зоны влияния очистных работ увеличение отпора крепи до 240 кПа уменьшает смещения в 2,6 раза. Позади очистного забоя, доказана возможность уменьшения смещений пород кровли в 3,96 раза при увеличении отпора крепи до 240 кПа.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что при установке в забое податливой крепи усиления с отпором 180-240 кПа можно обеспечить снижение смещений пород кровли без значительного нарушения ее естественной сплошности. Без проведения эксперимента трудно ответить на вопрос о том, какова будет величина смещений пород почвы, если крепь с повышенным отпором будет установлена непосредственно на прочный слой пород почвы в выемочной выработке непосредственно за очистным забоем. Уменьшение смещений пород почвы выемочных выработок в большой мере будет зависеть от места приложения внешней нагрузки на крепь со стороны окружающих пород и при использовании крепей с обычным, так и повышенным отпором [173].

Такая постановка вопроса указывает на необходимость исследования влияния отпора предлагаемого способа обеспечения устойчивости пород почвы системой «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» на механизм деформирования почвы при наличии в ее текстуре прочного слоя.

Исследование проводилось в условиях второго типа текстур пород почвы (коэффициент разнопрочности  $k_R^H=0,27$ ) выемочной выработки пласта  $m_3$  ОП «Шахта им. Е. Т. Абакумова» ГП «ДУЭК», детально описанных в разделе 2.4.

Инструментальные наблюдения проводились совместно с разработкой рекомендаций [174] по заложению западного полевого конвейерного штрека и охране 8-го западного конвейерного штрека пласта  $m_3$  ОП «Шахта им. Е. Т. Абакумова» ГП «Донецкая угольная энергетическая компания».

На момент проведения эксперимента в выработке уже применялись мероприятия по обеспечению устойчивости пород почвы шахтным способом, поэтому исследования проводились на 3-х участках (контрольный участок, 1-й экспериментальный – шахтный вариант мероприятий, 2-й экспериментальный – предлагаемый способ) длиной по 40 м с расстоянием между ними равным 40 м.

Измерение относительных смещений кровли и почвы и боковых пород в 8-м западном конвейерном штреке пласта  $m_3$  измерялись по оборудованным замерным станциям, согласно ВНИМИ [148] и разработанной методике, согласованной с руководством шахты. Замерные станции состояли из трех секций (рам крепи), на каждой из которых были установлены по шесть реперов, показано на рисунке 4.2.

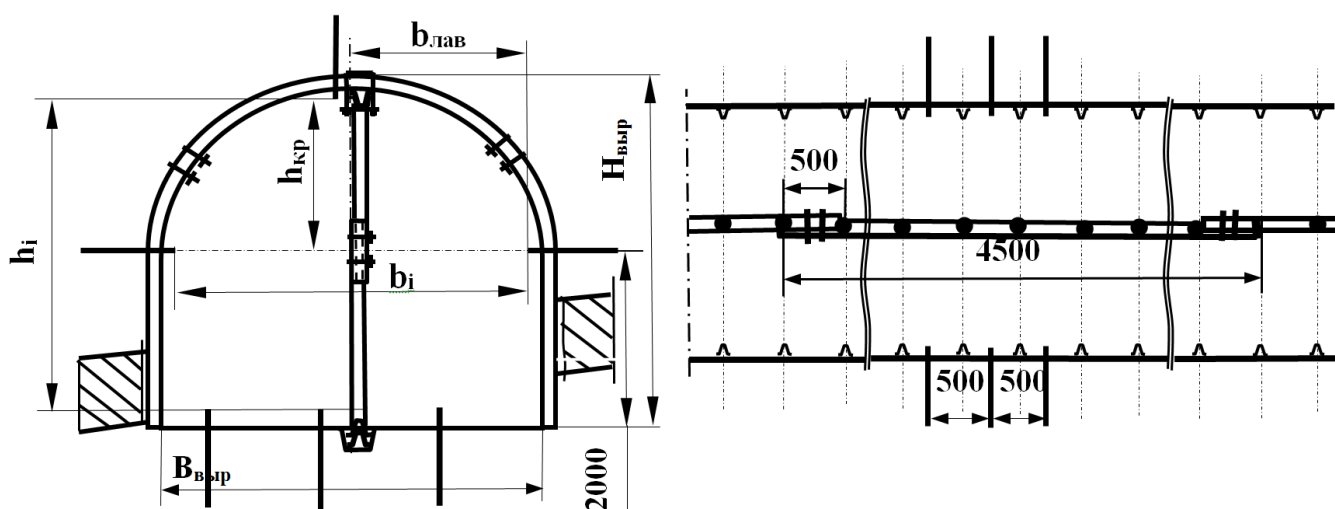


Рис. 4.2. Схема расположения контурных реперов на замерных станциях при проведении инструментальных наблюдений за проявлениями горного давления в выемочной выработке

В Приложении Н показана схема расположения экспериментальных участков и контурных замерных станций, а также методика проведения инструментальных наблюдений за проявлениями горного давления в условиях шахты им. Е.Т. Абакумова ГП «ДУЭК».

При внедрении предложенного способа особое внимание должно уделяться получению информации и условию поддержания выработки, оценивающихся по величинам смещений пород на ее контуре. По этим величинам производятся выбор типа и параметров крепи и проектирование паспорта крепления, поэтому от точности их определения зависят состояние выработки в период эксплуатации и затраты на ее поддержание.

Так на основании проведенных шахтных исследований, описанных в разделе 2.4, было разработано дополнение к паспорту проведения и крепления 8-го западного конвейерного штрека пласта  $m_3$  с предлагаемым способом обеспечения устойчивости пород почвы на экспериментальном участке, показано на рис Н.1 Приложения Н.

Предлагаемый способ обеспечения устойчивости пород почвы путем создания системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» осуществлялся следующим образом: с отставанием от лавы на 5 м под каждую раму крепи последовательно устанавливали по центру выработки крепь усиления, состоящую из верхней и нижней частей стойки из отрезков профиля СВП-33 по 2,2 м, соединенных между собой захлест 0,7 м замковым соединением. На почву выработки по центру, в заранее сооруженную канавку, продольно укладывают лежень из отрезков профиля СВП-33 по 4,5 м, входящий внахлест с ранее уложенным отрезком лежня и жестко соединяют их между собой замковым соединением. Так как прочный слой известняка залегал ниже почвы выработки на 0,4 м, то канавку подрывали на эту глубину. На уложенный лежень устанавливали крепь усиления, таким образом, чтобы нижняя часть стойки крепи усиления входила в зацепление с лежнем посредством жестко закрепленного на ней отрезка СВП-33, и верхняя часть стойки крепи усиления посредством жестко соединенного с ней куска отрезка СВП-33 входила в зацепление с верхняком основной крепи.

Разработанный способ и дополнение к паспорту крепления был заслушан и одобрен на технических советах ГП «ДУЭК» и ОП «Шахта им. Е. Т. Абакумова» [174].

## 4.2 Результаты шахтных испытаний

Первоначально для поддержания 8-го западного конвейерного штрека пласта  $m_3$  применялись мероприятия по обеспечению устойчивости пород почвы, заключающиеся в следующем: в след за лавой под каждую раму крепи, устанавливались деревянные стойки, опирающиеся непосредственно на почву через отрезки деревянных шпал.

На данном участке выработки были проведены инструментальные наблюдения за смещениями боковых пород на 1-м экспериментальном участке длиной 40 м (ПК12-ПК14) с тремя оборудованными замерными станциями.

Результаты шахтных исследований на экспериментальном участке с шахтным вариантом мероприятий приведены в таблицах П.1-П.4 Приложения П.

На рисунке 4.3 показаны графики зависимостей смещений пород почвы от расстояния до очистного забоя на трех замерных станциях по данным таблицы П.2 Приложения П.

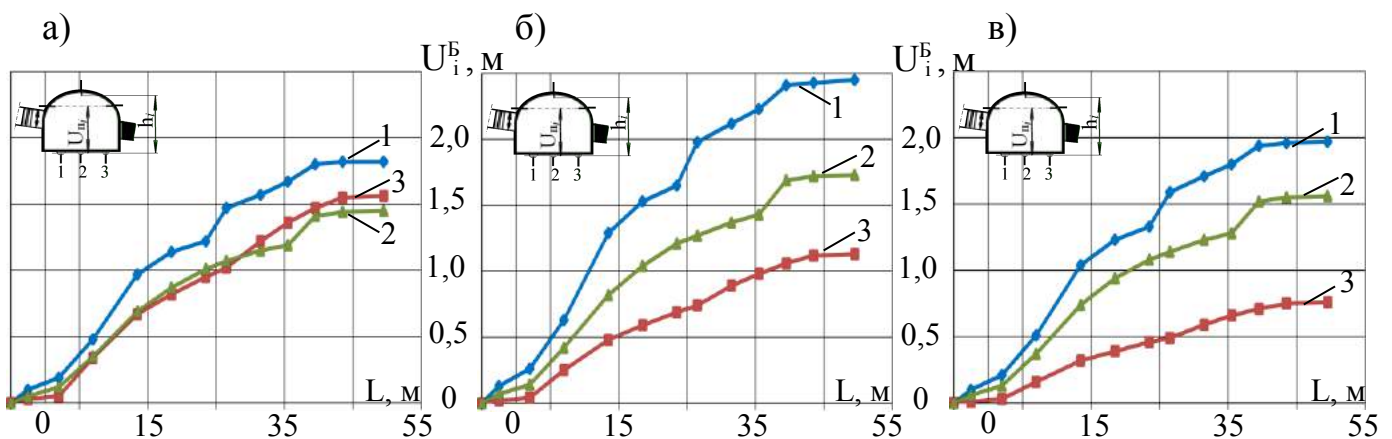


Рис. 4.3. Графики зависимостей смещений пород почвы выработки  $U$  с шахтным вариантом мероприятий на замерных станциях: а, б и в – соответственно замерные станции №1, 2 и 3 соответственно в зависимости от расстояния до очистного забоя  $L$  при расположении контурных реперов: 1 (—◆—) – со стороны выработанного пространства; 2 (—▲—) – по центру выработки; 3 (—■—) – со стороны угольного массива



Как видно из графиков на рисунке 4.3, такой способ показал малую эффективность отпора, так как ремонтини вдавливались в почву, а величина максимальных смещений по трем реперам в почве составила: на расстоянии 40 м за очистным забоем –  $1,2 \div 1,7$  м (см. рис. 4.3а), а на расстоянии 45 м –  $1,2 \div 2,4$  м (см. рис. 4.3б) и на расстоянии 50 м –  $0,75 \div 2,0$  м (см. рис. 4.3б).

Визуально было установлено, что на контрольном участке стойки сдвигались и вдавливались в почву выработки вплоть до контакта с прочным слоем известняка, так как отсутствовала дополнительная фиксация стоек на шпале. При этом наблюдалась деформация стоек в виде их раздавливания в нижней части, показано на рисунке 4.4. На расстоянии 35 м вслед за лавой была произведена поддирка пород почвы на величину 0,7 м. За время проведения эксперимента были выполнены несколько поддирок почвы буровзрывным способом с перекреплением отдельных участков выработки.

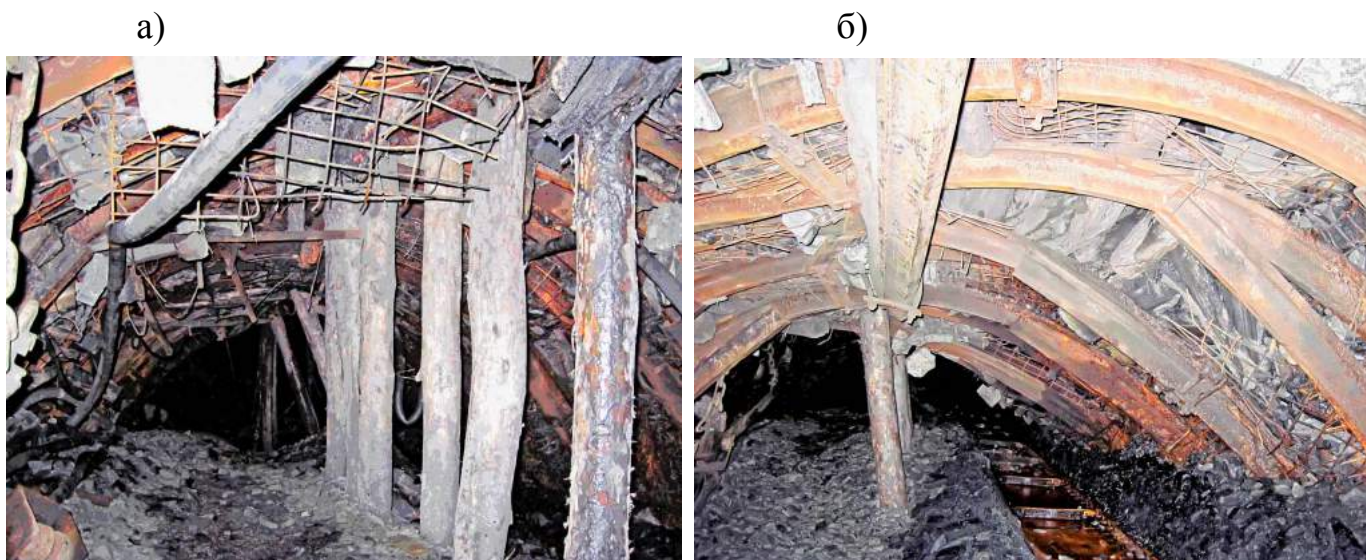


Рис. 4.4. Состояние конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта  $m_3$  на контрольном участке на расстоянии за очистным забоем 25 м (а) и 35 м (б) за очистным забоем

В начале была отмечена интенсификация смещений пород почвы в среднем на величину 1,34 м, с последующим спадом, скорость смещений в зоне повышенного горного давления составила  $0,5 \div 0,8$  м/мес. Через 25 сут в связи с

технологической необходимостью была произведена поддирка почвы на величину, скорость смещений в зоне установившегося горного давления составила  $0,13 \div 0,15$  м/мес. Таким образом, суммарные смещения пород почвы выработки через 180 сут с учетом поддинок пород почвы на составили 2,4 м. Практика поддержания выемочных выработок на шахте им. Е. Т. Абакумова показывает, что после  $2 \div 3$  подрывок почвы выработку необходимо перекреплять.

В результате было принято решение в место деревянных ремонтин, установить металлические ремонтинны из отрезков спецпрофиля на уложенный по почве вдоль выработки деревянный лежень. Однако, как показывает анализ [175], такой способ установки крепи усиления не улучшил ситуацию. Основным недостатком данного способа установки крепи усиления заключается в сдвиге стоек, показанном на рисунке 4.5, так как металлические стойки без дополнительной фиксации на деревянном лежне, сдвигаются и вдавливаются в почву выработки на величину  $0,6 \div 0,7$  м, что снижает отпор крепи усиления из металлических ремонтин (см. рис. 4.5а), причем стойки прокалывались в почву до прочного слоя известняка и деформируются у основания (см. рис. 4.5б).

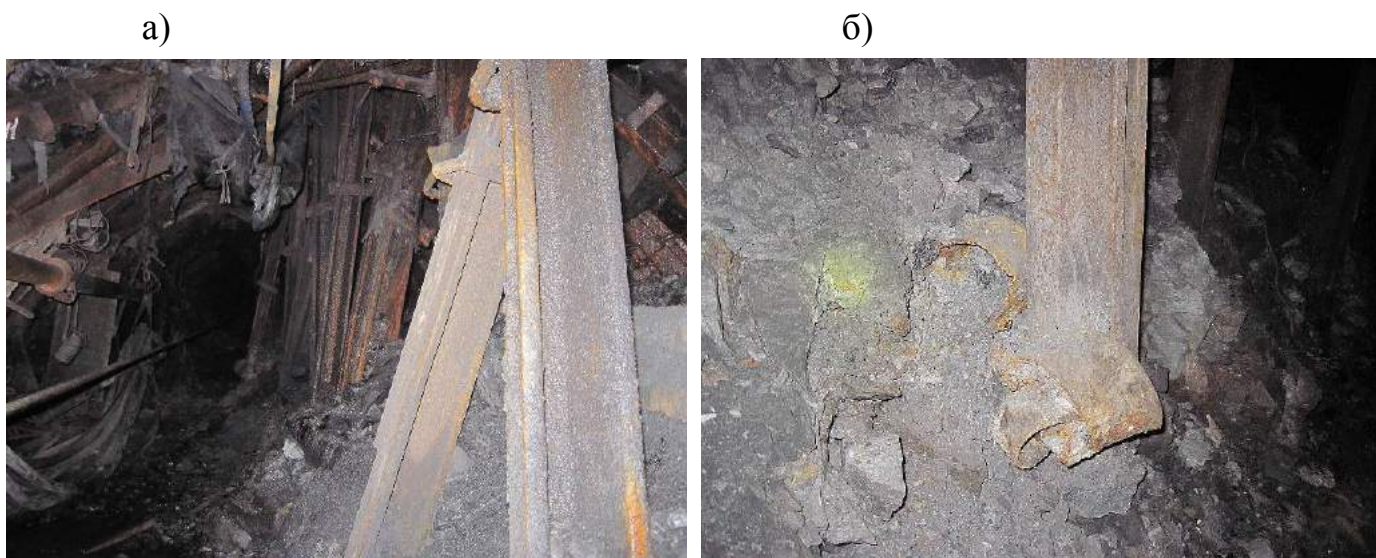


Рис. 4.5. Состояние крепи усиления из металлических ремонтин в 8-м западном конвейерном штреке пласта  $m_3$  шахты им. Е. Т. Абакумова ГП «ДУЭК»: а) вдоль выработки; б) у основания стойки

На 2-м экспериментальном участке (ПК16+4,8м-ПК17+5,2м), протяжённостью 20 м, для обеспечения устойчивости пород почвы был применен предлагаемый способ путем создания системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» упорно-лежневой крепью усиления.

Результаты шахтных исследований на экспериментальном участке с предлагаемым способом приведены в таблицах П.5-П.8 Приложения П.

На рисунке 4.6 показаны графики зависимостей смещений пород почвы от расстояния до очистного забоя на трех замерных станциях по данным таблицы П.6 Приложения П.

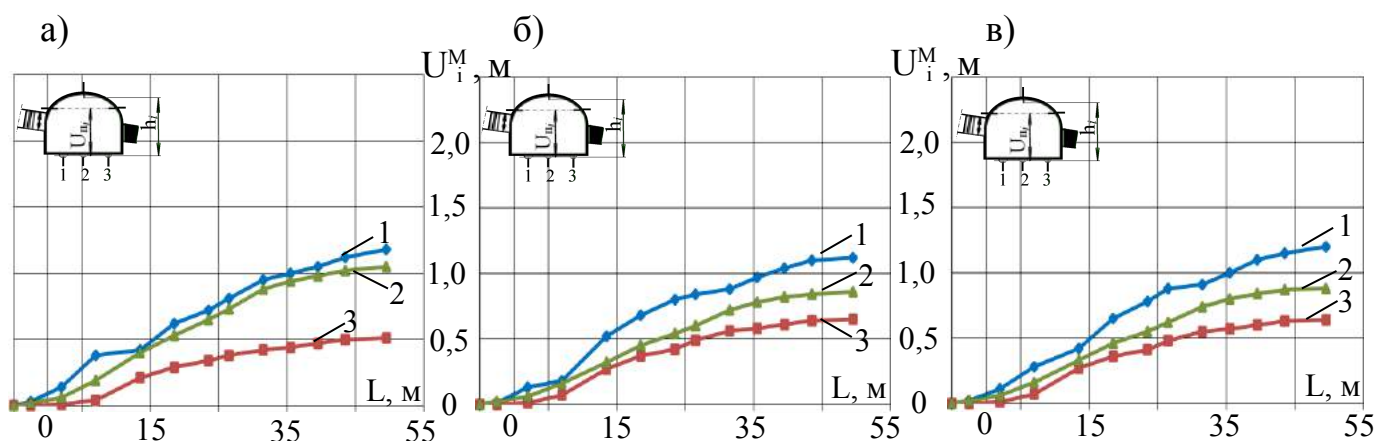


Рис. 4.6. Графики зависимостей смещений пород почвы выработки  $U$  с предлагаемым способом на замерных станциях: а, б и в – соответственно замерные станции №1, 2 и 3 соответственно в зависимости от расстояния до очистного забоя  $L$  при расположении контурных реперов: 1 (—◆—) – со стороны выработанного пространства; 2 (—▲—) – по центру выработки; 3 (—■—) – со стороны угольного массива

Из представленных графиков на рисунке 4.6 видно, что смещения пород почвы возрастают по мере удаления от лавы и относительно стабилизируются на расстоянии 30÷35 м от очистного забоя, при этом их величина на 3-х замерных станциях колеблется в пределах от 0,5 до 1,3 м. Следует также отметить, что смещения пород почвы по ряду контурных реперов со стороны лавы и по центру выработки превышают соответствующие смещения со стороны массива угля в среднем соответственно в 1,6 и 1,3 раза, что можно объяснить тормозящим

эффектом жесткой заделки верхнего слоя почвы со стороны массива. В целом смещения пород почвы в 2 раза ниже, чем при шахтном варианте мероприятий.

Сопоставим смещения пород почвы с шахтным вариантом, как контрольного участка, и предлагаемым способом, по итоговым результатам средневзвешенных значений величин смещений и скоростей смещений пород почвы по трем замерным станциям приведенных в таблицах П.4 и П.8 Приложения П, которые представлены в виде графиков зависимостей на рисунках 4.7 и 4.8.

Из представленных графиков на рисунках 4.7-4.8 видно, наблюдается интенсификация после отхода лавы, но с незначительными смещениями пород почвы на первоначальном участке 0,54 м, скорость в зоне повышенного горного давления составила 0,44 м/мес., а в зоне установившегося горного давления составила – 0,08 м/мес.

В целом, на экспериментальном участке смещения пород почвы на сопряжении с лавой составили 0,2-0,6 м, а на расстоянии 15 м за лавой – 0,4-0,7 м, что в 1,7-2,5 раза ниже, чем на контрольном участке. На расстоянии 45 м вслед за лавой величина смещений почвы составила 0,7-1,1 м, что в 1,9-2,2 раза ниже, чем на контрольном участке. Это позволило сократить количество поддирок пород почвы конвейерного штрека.

При этом поэтапное развитие смещений пород почвы при шахтном способе наблюдается также, как и без применения мероприятий, описанных в разделе 2.4. На обоих экспериментальных участках на третьем этапе происходил резкий скачок скоростей (см. рис. 4.8а) на расстоянии 23÷35 м от лавы, что подтверждается в последствии разломом верхних слоев почвы с образованием продольной трещины на расстоянии 0,8÷0,9 м от стоек крепи со стороны выработанного пространства. Таким образом шахтный вариант мероприятий не создает необходимого отпора для повышения несущей способности прочного слоя.

При предлагаемом способе, скорости смещений были равномерны (см. рис. 4.8б) характерные этапы отсутствовали. Данный эффект был достигнут за счет изменения механизма деформирования почвы за счет создания отпора системой «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» по центру выработки непосредственно на прочный слой упорно-лежневой крепью усиления.

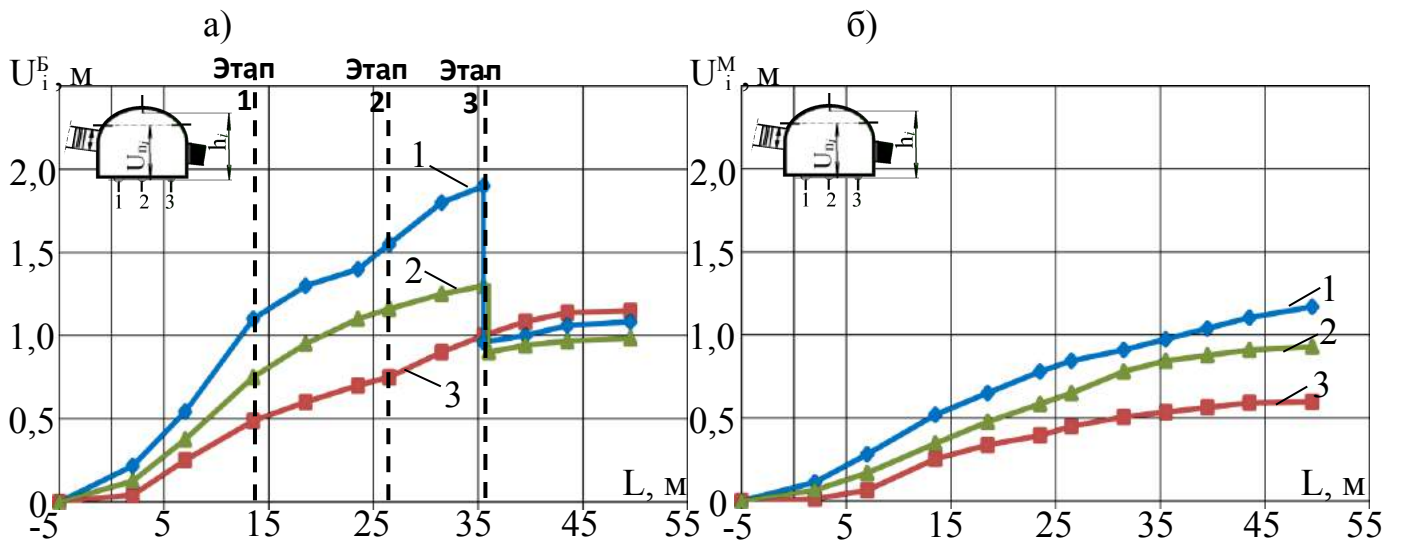


Рис. 4.7. Графики зависимостей смещений  $U$  (а – шахтный способ; б – предложенный способ) пород почвы второго типа текстуры в выработке от расстояния до очистного забоя  $L$ : 1 (—◆—) – со стороны выработанного пространства; 2 (—▲—) – по центру выработки; 3 (—■—) – со стороны угольного массива

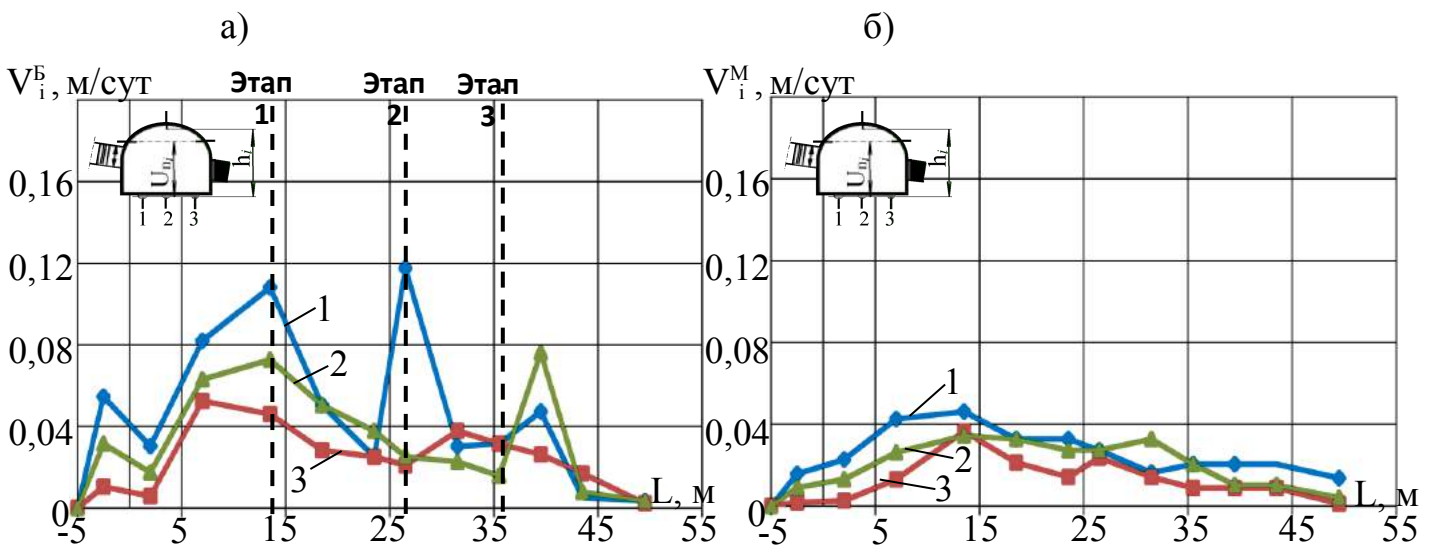


Рис. 4.8. Графики зависимостей скоростей смещений  $V$  (а – шахтный способ; б – предложенный способ) пород почвы второго типа текстуры в выработке от расстояния до очистного забоя  $L$ : 1 (—◆—) – со стороны выработанного пространства; 2 (—▲—) – по центру выработки; 3 (—■—) – со стороны угольного массива

Анализ результатов наблюдений за смещениями пород почвы в конвейерном штреке 8-й западной лавы пласта  $m_3$  шахты им. Е.Т. Абакумова позволил установить следующее: смещения пород почвы на контрольном и экспериментальном участках возрастают по мере удаления от лавы и стабилизируются на расстоянии  $45 \div 50$  м от очистного забоя. При этом их величина составляла: на контрольном участке  $1,1 \div 2,5$  м, на экспериментальном  $0,8 \div 1,2$  м.

На экспериментальном участке смещения пород почвы на сопряжении с лавой составили  $0,2 \div 0,6$  м, а на расстоянии 15 м за лавой –  $0,4 \div 0,7$  м, что в  $1,7 \div 2,5$  раза ниже, чем на контрольном участке. На расстоянии 45 м вслед за лавой величина смещений почвы составила  $0,7 \div 1,1$  м, что в  $1,9 \div 2,2$  раза ниже, чем на контрольном участке. Это позволило сократить количество поддирок пород почвы конвейерного штрека и получить экономический эффект [176].

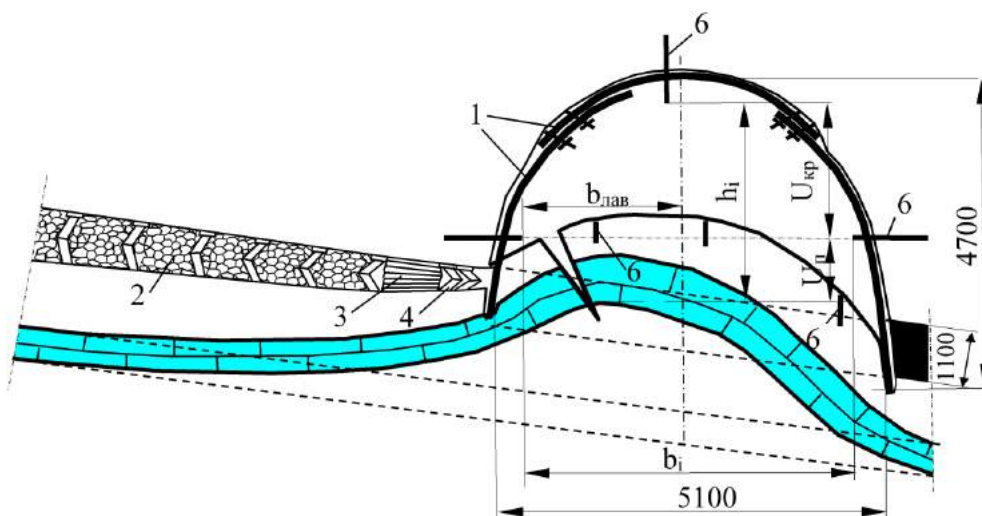
Проведенное сопоставление результатов, позволило установить общую картину механизма деформирования пород почвы при наличии в их текстуре прочного слоя для второго типа текстур пород почвы (коэффициент разнопрочности  $k_R^H = 0,27$ ) в условиях конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта  $m_3$  шахты им. Е. Т. Абакумова показана на рисунке 4.9, без мероприятий и с использованием предлагаемого способа обеспечения устойчивости пород почвы выемочных выработок.

При шахтном способе поддержания выработки выдавливание первого слабого и разлом второго прочного слоёв почвы происходит в пределах ширины выработки на расстоянии  $0,8 \div 1,0$  м от стоек арочной крепи со стороны выработанного пространства (см. рис. 4.9а).

При предлагаемом способе, силовое воздействие непосредственно на прочный слой предотвращает его разлом в почве выработки (см. рис. 4.9б) и позволяет в 2 раза и более уменьшить её смещения, тем самым снизить материальные и трудовые затраты на поддирку почвы.

Акт и протокол шахтных испытаний разработанного способа обеспечения устойчивости пород почвы в условиях ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова» ГП «ДУЭК» представлены в Приложении Р.

а)



б)

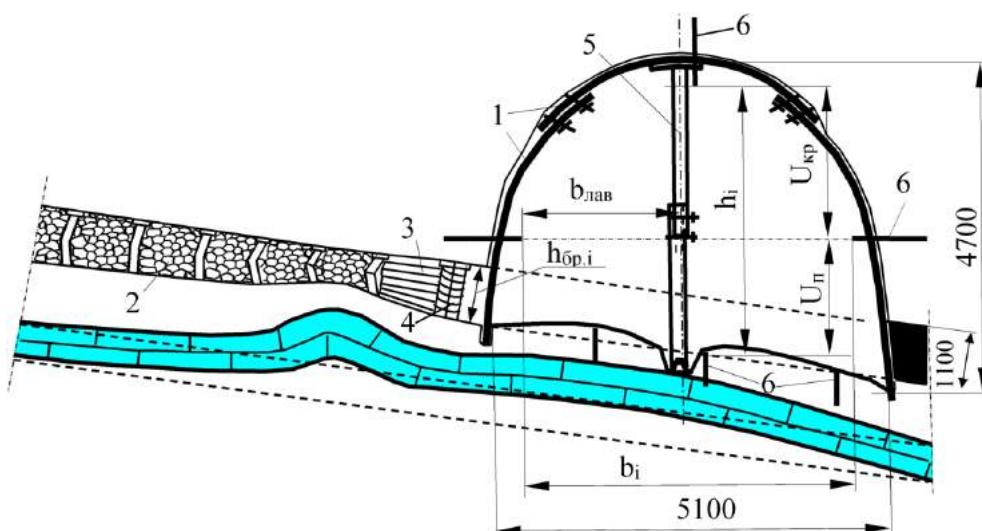


Рис. 4.9. Особенности механизма деформирования пород почвы при наличии в их текстуре прочного слоя для второго типа текстур пород почвы (коэффициент разнопрочности  $k_R^H=0,27$ ) в условиях конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта  $m_3$  шахты им. Е. Т. Абакумова: а – без мероприятий; б – при предлагаемом способе обеспечения устойчивости пород почвы выемочных выработок;

1 – основная крепь; 2 – бутовая полоса; 3 – крепь СКУ; 4 – органичная крепь; 5 – упорно-лежневая крепь усиления; 6 – репера

Состояния выработки с предложенным способом на момент демонтажа крепи усиления представлена на рисунке 4.10.



Рис. 4.10. Общее состояние выработки с предлагаемым способом

В Приложении С приведен расчет экономической эффективности внедрения предложенных рекомендаций, которые составили 3299,4 грн./м, и акт внедрения научно-технического мероприятия в условиях ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова» ГП «ДУЭК».



Таким образом, на основании шахтных испытаний предлагаемого способа подтверждена эффективность его применения для обеспечения устойчивости пород почвы конвейерного штрека за счет создания системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи». Фактический экономический эффект применения предложенных рекомендаций составил 3299,4 грн./м (в ценах 2011 года).

### 4.3 Выводы по разделу

Шахтные испытания способа обеспечения устойчивости пород почвы позволили сделать следующие выводы:

1. Уточнен механизм деформирования пород почвы при наличии в её текстуре прочного слоя в условиях выемочных выработок с охранным сооружением и упорно-лежневой крепью усиления.

2. Снижение материальных и трудовых затрат на поддержку пород почвы, подверженных складкообразованию, в выемочной выработке шириной  $B$  при наличии в её составе прочного слоя толщиной  $(0,1 \div 0,3)B$  и прочностью более 60 МПа, удалённого от почвы выработки на расстояние не более  $0,2B$ , обеспечивается путём внешнего воздействия на прочный слой, позволяющего сохранить его устойчивость.

3. Создание системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» при установке под каждую раму основной крепи на участке не менее 20 м вслед за лавой крепи усиления, контактирующей непосредственно с прочным слоем, позволяет в два раза и более уменьшить смещение почвы в выработку.

4. Установлено, что при наличии в текстуре пород почвы прочного слоя мощностью  $m_{\text{пр}}=0,1B$  с прочностью  $\sigma_{\text{сж}}^{\text{II}}=120$  МПа (II-й тип текстуры пород почвы с коэффициентом разнопрочности  $k_{\text{R}}^{\text{II}}=0,27$ ), находящегося на удалении  $h_{\text{пр}}=0,2B$  от контура выработки, применение предлагаемого способа обеспечения устойчивости

почвы системой «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» позволяет уменьшить смещения почвы в 2 раза.

5. Получен экономический эффект за счет внедрения предложенных рекомендаций в условиях конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта  $m_3$  ОП «Шахта им. Е. Т. Абакумова» ГП «ДУЭК», который составил 3299,40 грн./м (в ценах 2011 года).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная научно-техническая задача, заключающаяся в установлении особенностей и закономерностей деформирования пород почвы выемочных выработок при наличии в их текстуре прочного слоя, что позволило разработать новый, технологически простой и малозатратный, способ обеспечения устойчивости пород почвы выемочных выработок угольных шахт.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Установлено, что устойчивость пород почвы, подверженных складкообразованию, при наличии в их текстуре прочного слоя зависит от его толщины, прочности и глубины расположения от подошвы выработки.

2. В качестве критерия «прочного слоя» пород, участвующих в процессе складкообразования в почве выработки, предложено использовать коэффициент разнопрочности, показывающий соотношение между параметрами (толщиной и прочностью) данного слоя и параметрами остальных слоёв.

3. Установлены особенности процесса деформирования пород почвы в выемочной выработке при наличии в их текстуре прочного слоя, заключающиеся в поэтапном развитии деформаций. На первом этапе происходит расслоение слоя пород, расположенного над прочным слоем; на втором этапе прочный слой под воздействием жесткого охранного сооружения со стороны выработанного пространства изгибается, вызывая интенсивное выдавливание в выработку выше расположенных пород; на третьем этапе происходит разлом прочного слоя.

4. Влияние прочного слоя на устойчивость пород почвы выемочной выработки наблюдается при его расположении на расстоянии не более  $0,5B$  от почвы выработки, прочности на одноосное сжатие более  $60$  МПа (при коэффициенте разнопрочности равном  $0,50 \div 1,02$ ) и его толщине не менее  $0,1B$ .

5. Разработан способ поддержания выемочных выработок (Пат. 99028 Украина) и способ обеспечения устойчивости пород почвы при наличии в их текстуре прочных слоёв (Пат. 103110 Украина).

6. Уменьшить выдавливание почвы в два и более раза в выемочную выработку шириной  $B$  при наличии в её составе пород, подверженных складкообразованию, прочного слоя толщиной  $(0,1 \div 0,3)B$  и прочностью более 60 МПа, удалённого от почвы выработки на расстояние не более  $0,2B$ , можно обеспечить путём установки на участке не менее 20 м вслед за лавой крепи усиления, контактирующей непосредственно с прочным слоем.

7. Результаты работы прошли шахтные испытания в условиях конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта  $m_3$  ОП «Шахта им. Е. Т. Абакумова» ГП «ДУЭК», что позволило уменьшить смещения пород почвы в 2 раза. Экономический эффект от внедрения предложенных рекомендаций составил 3299,40 грн./м (в ценах 2011 года).

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- $B$  – ширина выработки, м;
- $\gamma$  – объемный вес породы, Н/м<sup>3</sup>;
- $E$  – модуль упругости пород, Н/м<sup>2</sup>;
- $\sigma$  – предел прочности пород, Н/м<sup>2</sup>;
- $\sigma_{сж}^п$  – предел прочности на одноосное сжатие прочного слоя пород, Н/м<sup>2</sup>;
- $R$  – расчетное сопротивление породного массива, Н/м<sup>2</sup>;
- $P$  – силовое воздействие, Н;
- $H$  – глубина горных работ, м;
- $U$  – смещения пород почвы в горной выработке, м;
- $m_{пр}$  – толщина прочного слоя пород, м;
- $h_{пр}$  – глубина залегания прочного слоя в текстуре пород почвы от подошвы выработки, м;
- $k_R$  – коэффициент разнопрочности слоёв пород;
- ГП «ДУЭК» – Государственное предприятие «Донецкая угольная энергетическая компания»;
- БВР – буровзрывные работы;
- ВВ – взрывчатые вещества;
- ЗНД – зона неупругих деформаций;
- ЗРП – зона разрушенных пород;
- МКЭ – метод конечных элементов;
- НДС – напряжено-деформирование состояние;
- ОП – обособленное подразделение;
- ПК – пикет;
- СКУ – специальная крепь усиления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. BP Statistical Review of World Energy 2016 [Электронный ресурс]: Официальный сайт BP Global Company – Режим доступа: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf> - Загл. с экрана. - 04.10.2016.
2. Задачи Министерства угля и энергетики Донецкой Народной Республики [Электронный ресурс]: Официальный сайт Министерства угля и энергетики Донецкой Народной Республики – Режим доступа: [http://mintek-dnr.ru/index/zadachi\\_ministerstva/0-12](http://mintek-dnr.ru/index/zadachi_ministerstva/0-12) – Загл. с экрана. – 04.10.2016.
3. **Тополов, В. С.** Угольная отрасль Украины: энергоресурсы, ретроспектива, состояние, проблемы и стратегии развития / В. С Тополов, Б. А. Грядущий, С. Я. Петренко. – Донецк: ООО «Алан», 2005. – 408 с.
4. Правила безопасности в угольных шахтах (НПАОТ 10.0-1.01-16 опубликовано 20.05.2016 года, с изменениями от 07.07.2016) [Электронный ресурс]: Официальный сайт государственного комитета горного и технического надзора Донецкой Народной Республики – Режим доступа: <http://gkgtn.ru/images/ПРАВИЛА%20БЕЗОПАСНОСТИ%20НА%20УГОЛЬНЫХ%20ШАХТАХ.pdf> – Загл. с экрана. – 04.10.2016.
5. **Черняк, И.Л.** Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт / И.Л. Черняк, Ю.И. Бурчаков. – М.: «Недра», 1984. – 304 с.
6. **Бабиюк, Г.В.** Управление надежностью горных выработок: монография / Г. В. Бабиюк. – Донецк: «Світ книги», 2012. – 420 с. – ISBN 978-966-2747-010
7. **Шашенко, О. М.** Геомеханічні процеси у породних масивах: Монографія / О. М. Шашенко, Т. Майхерчик, О. О. Сдвижкова. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет (Дніпропетровськ, Україна), 2005. – 319 с. – ISBN 966-350-018-2
8. **Янко, С.В.** Современные проблемы проведения и поддержания горных выработок на глубоких шахтах: монография / С.В. Янко, С.С. Гребенкин, А.М. Брюханов, Н.Н. Касьян и др – Донецк: ДУНВГО, 2003.– 356 с.– ISBN 966-7745-24-4

9. **Канін, В. О.** Фізико-технічні основи охорони виймальних виробок в умовах нестійких порід: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.15.02 / Канін Володимир Олексійович; НАН України, Ін-т геотехн. механіки ім. М. С. Полякова. – Дніпропетровськ, 2011. – 34 с.

10. **Aldorf, Josef.** Mechanika podzemnich konstrukci / Josef Aldorf. – Ostrava: Vysoka skola banska, 1999. – 410 с. – ISBN-80-7078-695-7

11. **Brady, H.G.** Rock Mechanics for underground mining / H.G. Brady, E.T. Brown. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. – 628 с. – ISBN 1-4020-2064-3

12. **Farmer, I.W.** Coal Mine Structures. / I.W. Farmer – London/New York: Chapman and Hall, 1985. – 310 с. – ISBN 0-412-26030-6

13. **Максимов, А.П.** Выдавливание горных пород и устойчивость подземных выработок / А.П. Максимов – М.: Госгортехиздат, 1963. – 144 с.

14. **Черняк, И.Л.** Предотвращение пучения почвы горных выработок / И.Л. Черняк – М.: «Недра», 1978. – 237 с.

15. **Соловьёв, Г.И.** Особенности выдавливания прочных пород почвы выемочных выработок глубоких шахт [Текст] / Г.И. Соловьёв, А.Л. Касьяненко [и др.]. // Вісті Донецького гірничого інституту, Донецьк. – 2011. – №1. – С. 115-121. – ISSN 1999-981X

16. **Соловьёв, Г.И.** Особенности выдавливания прочной почвы конвейерного штрека в условиях пласта  $m_3$  шахты им. Е.Т. Абакумова [Текст] / Г.И. Соловьёв, А.Л. Касьяненко [и др.]. // Наукові матеріали X-ї Міждародної конференції «X Szkoła geomechaniki». – Глівіце -Устронь, 2011. – С.219-231.

17. Итоги работы обособленных подразделений ГП «Донецкая угольная энергетическая компания» [Электронный ресурс]: сведения о работе шахт ГП «ДУЭК» 2011-2013 гг. – Режим доступа: <http://www.duek.dn.ua/news33-44.xls> – Загл. с экрана. – 17.03.2013.

18. Развитие теоретических основ управления геомеханическим состоянием дискретного породного массива для обеспечения устойчивости подготовительных выработок глубоких шахт [Текст] : отчет о НИР (заключ.) / ГВУЗ ДонНТУ; рук. С.В. Подкопаев; исполн.: Г.И. Соловьёв, А.Л. Касьяненко [и др.]. – Донецк, 2012. – 322 с. – Госрег. № 0111U002118.

19. **Мокрієнко, В.М.** Обґрунтування параметрів способу охорони виробок жорсткими спорудами з компенсаційними порожнинами: Дис... канд. техн. наук : 05.15.02 / Мокрієнко Володимир Миколайович; ДВНЗ ДонНТУ. – Донецьк, 2013. – 220 с.

20. **Касьян, Н. Н.** Исследование пучения почвы подготовительных выработок и выбор способов борьбы с этим явлением. Дис... канд. техн. наук. 05.15.02 / Касьян Николай Николаевич; Донецкий ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт – Донецк, 1980. – 114 с.

21. **Бондаренко, В. И.** Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве слабых пород: Монография / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, В.Г. Черватюк. – Днепропетровск: ООО «ЛизуновПресс», 2012. – 236 с. – ISBN 978-966-2575-13-2

22. **Снигур, В. Г.** Закономерности пучения пород почвы пластовых выработок [Текст] / В. Г. Снигур // Уголь Украины. – 2014. – №7. – С. 3–5.

23. **Медведев, И.Ф.** Механизация проведения горных выработок в крепких породах / И.Ф. Медведев, А.А. Фещенко, С.И. Одинец – М.:«Недра», 1982. – 166 с.

24. Методика разведки угольных месторождений Донецкого бассейна // Коллектив авторов. М.: «Недра», 1972. – 340 с.

25. Каталог шахтопластов Донецкого угольного бассейна с характеристикой горно-геологических факторов и явлений. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1982. – 267 с.

26. **Соловьёв, Г.И.** О механизме выдавливания прочных пород почвы глубоких шахт / Г. И. Соловьёв, А. Л. Касьяненко [и др.] // XIV Międzynarodowe Sympozjum “Geotechnika-Geotechnics 2010”: Наукові матеріали XIV-го Міжнародного симпозіуму «Геотехніка-2010» – Гливице-Устронь, 2010. – С.253-262.

27. **Соловьёв, Г.И.** Особенности выдавливания прочных пород почвы выемочных выработок глубоких шахт [Текст] / Г.И. Соловьёв, А.Л. Касьяненко, Ю.М. Мороз // «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» - 7-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. –ТулГУ, Тула, 2011. – Т. 1. - С.109-116. – ISBN 978-5-7679-2050-1



28. **Белов, В. И.** Исследование явлений пучения в горных выработках // Горный журнал, 1929, № 1. – С. 45-49.

29. **Гурдус, А.В.** Изучение причин вспучивания горных пород каменноугольной формации Донбасса и меры борьбы с этим явлением. – Харьков:ГОНТИ, 1933. – 76 с.

30. **Сыроватко, М. В.** О пучении глинистых пород в угольных шахтах. – М.: Углетехиздат, 1953. – 36 с.

31. **Целигоров, А.И.** Некоторые вопросы пучения горных пород – М.: Углетехиздат, 1949 – 44 с.

32. **Покровский, Н.М.** Проведение горных выработок. – М.: Углетехиздат, 1954. – 832 с.

33. **Барановский, В.И.** Влияние устойчивости подготовительных выработок на выбор рациональных способов разработки пологих пластов в Донбассе // Переход на обратный порядок отработки выемочных полей в Донбассе-М.: Углетехиздат - 1957. – С.121-138.

34. **Белаенко, Ф.А.** Исследование пучения горных пород в капитальных и подготовительных выработках на шахтах Донбасса / Белаенко Ф.А., Глушко В.Т. // Труды Украинского научно-исследовательского института организации и механизации шахтного строительства- Вып. XI.- М.: Госгортехиздат–1960.-С.117-138.

35. **Шейхет, М.Н.** Давление пучащих пород на крепь подземных выработок- М.: Углетехиздат, 1955 - 126 с.

36. **Артеменко, Т.К.** Термодинамика пучащих пород / Артеменко, Т.К., Куличенко И.И. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение: Сб. науч. тр.: ПГАСА. – 2001. – Вып. 15. – С. 28-31.

37. **Артеменко, Т.К.** Факторы разрушения горных пород и глинистых грунтов / Т.К. Артеменко, В.С. Штокарев //Уголь Украины. – 2003. – № 3. – С.10-11.

38. **Чакветадзе, Ф.А.** Разработка эффективных технологий активного воздействия на окружающий массив для повышения устойчивости подземных горных выработок: Автореф. дисс...докт. техн наук: 05.15.02. / МГТУ. – М. – 1994. – 36 с.

39. **Городничев, В.М.** Современные методы борьбы с пучением горных пород. М.: Госгортехиздат, 1960. – 100 с.
40. **Лабасс, А.** Давление горных пород в угольных шахтах // Горное давление. -М.: Госгортехиздат, 1957. – 222 с.
41. **Ростовцев, Д.С.** Гипотеза поведения горных пород при разработке каменноугольных месторождений // Уголь. – 1933. – № 94. – С. 73-87.
42. **Давыдов, С.С.** Расчет и проектирование подземных конструкций. – М.: Стройиздат, 1950. – 376 с.
43. **Цимбаревич, П.М.** Механика горных пород.– М.: Углетехиздат, 1948.–247 с.
44. **Слесарев, В. Д.** Механика горных пород – М.: Углетехиздат, 1948.–236 с.
45. **Щукин, А.С.** Определение величины горного давления в штольнообразных выработках, пройденных в связанных мягких и крепких монолитных породах // Горный журнал – 1958. – №2. – С.21-34.
46. **Пономарев, И.М.** Исследования напряженного состояния пучащих пород вокруг выработок, подверженных влиянию очистных работ // Труды ДИИ, - Т. 15. - М.: Углетехиздат. – 1959. – С. 18-37.
47. **Леонов, В.П.** Пучение подугольных глин и мероприятия по повышению срока службы крепи подготовительных выработок шахт Нелидовского месторождения / Леонов В.П., Подъемщиков Н.В. // Вопросы разработки угольных пластов Подмосковского бассейна: Сб. трудов. – М.: Углетехиздат, 1952. – № 6-7. – С. 3-71.
48. **Максимов, А. П.** Горное давление и крепь выработок. – М.: Недра, 1973. – 288 с.
49. **Лыткин, В. А.** Механизм пучения пород в подземных выработках. – М.: Наука, 1965. – 130 с.
50. **Сонин, С.Д.** Борьба с пучением в горных выработках / С.Д. Сонин, М.Н. Шейхет, И.Л. Черняк. [и др.] – М: «Недра», 1966. – 199 с.
51. **Комиссаров, М.А.** Некоторые вопросы поддержания подготовительных выработок в условиях пологих пластов Донбасса // Вопросы охраны и крепление горных выработок. ДонУГИ. – Сб. № 41. – Изд-во «Недра», 1968. – С. 3-25.

52. **Западинский, Л.А.** Проявление пучения горных пород в выработках и методы борьбы с ним // Уголь. – 1975. – № 5. – С. 36-37.

53. **Касьян, Н. Н.** Механизм пучения почвы горных выработок в условиях хрупкого разрушения пород / Касьян Н. Н., Костоманов А. И., Мороз О.К. // Изв. вузов. Горный журнал. – 1996. – №1. – С. 4-8.

54. **Касьян, Н.Н.** Установление характера перераспределения вертикального давления в боках выработки в пределах зоны разрушенных пород [Текст] / Н.Н. Касьян, С.Г. Негрей, И.Г. Сахно // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Гірничо-геологічна». – Донецьк, ДВНЗ «ДонНТУ», 2006. – вип. 111. – том 2. – С. 14-18.

55. **Сивохин, В. И.** Исследование природы пучения почвы в горных выработках, не подверженных влиянию очистных работ с целью выбора средств борьбы с этим явлением (в условиях Донецкого угольного бассейна). Дисс... канд. техн. наук: 05.311 / Сивохин Владимир Иванович; Московский горный институт – Москва, 1971. – 145 с.

56. **Кириченко, В.Я.** О механизме пучения почвы выработок, сооружаемых в слабых породах / Кириченко В.Я., Шмиголь А.В., Рева В.Н. // Шахтное строительство – 1988. – №11. – С.3-5.

57. **Шмиголь, А.В.** Шахтные исследования характера разрушения слабых пород на шахтах Западного Донбасса / Шмиголь А.В., Кириченко В.Я., Бучатский С.М., Рева В.Н. // Шахтное строительство – 1987 – №5. – С.11-12.

58. **Пирский, А.А.** Шахтные исследования пучения почвы в выработках Западного Донбасса / Пирский А.А., Стовпник С.Н. // Уголь Украины – 1989. – №11 – С.2-3.

59. **Мельников, Е.А.** Механизм и закономерности пучения горных пород в выработках / Мельников Е.А., Выборнова С. Н. // Горнотехнические проблемы. – М. – 1988. – С. 58-64.

60. **Пихконен, Л.В.** Обоснование параметров взрывоцелевой разгрузки почвы повторно-используемых подготовительных выработок глубоких шахт: Автореф. дисс...канд. техн. наук: 05.15.04., 05.15.02. / Пихконен Леонид Валентинович; Санкт-Петербургский горный институт – Санкт-Петербург, 1992 – 19 с.

61. **Заславский, Ю. З.** Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт/ Ю. З. Заславский, А. Н. Зорин, И. Л. Черняк – К.:«Техніка», 1972. – 156 с.

62. **Иванчишин, С. Я.** К механизму пучения пород в горных выработках угольных шахт [Текст] / С.Я. Иванчишин, А. Т. Курносков, Б. В. Лопушанский, Ф. И. Чухно // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 1998. – Вып. 9. – С. 98-102.

63. **Литвинский, Г.Г.** Метод прогноза пучения почвы в горных выработках [Текст] / Литвинский Г.Г., Фесенко Э.В.// Уголь Украины. – 2004. – №1. – С. 9-11.

64. **Литвинский, Г.Г.** Закономерности пучения пород почвы подготовительных выработок [Текст]/ Литвинский Г.Г., Фесенко Э.В.// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірничо-геологічна». – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – Вип.72. – С.19-23.

65. **Литвинский, Г.Г.** Критерии устойчивости слоистых пород почвы [Текст] / Литвинский Г.Г., Фесенко Э.В.// Горная геология, геомеханика и маркшейдерия: Материалы международной научно-технической конференции. Сб. науч. докладов. – Донецк: УкрНИМИ НАН Украины, 2004. – С. 330-335.

66. **Руппенейт, К.В.** О давлении на крепь в штрекообразных выработках // Вопросы горного дела ВУГИ. – М.: Углетехиздат. – № 10. – 1953. - С. 26-47.

67. **Шашенко, А. Н.** Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве: Автореф... дис. ... докт. техн. наук : 05.15.04, 05.15.11 / Шашенко Александр Николаевич; Днепр. горн. ин-т им. Артема. - Днепропетровск, 1988. – 34 с.

68. **Роенко, А. Н.** Устойчивость подготовительных выработок угольных шахт в условиях больших глубин разработки :Автореф...дис.. докт. техн. наук : 05.15.04/ Роенко Анатолий Николаевич; НГУ. –Днепропетровск, 1995. – 29 с.

69. **Тулуб, С.Б.** Геомеханічні основи та просторово-технологічні рішення забезпечення стійкості виробок вугільних шахт у складноструктурних тріщинуватих порідних масивах: Автореф. дис...докт. техн. наук: 05.15.04. / Тулуб Сергій Борисович; НГУ. – Дніпропетровськ, 2001. – 21 с.

70. **Лозовський, С.П.** Обґрунтування параметрів способу підвищення стійкості підготовчих виробок з подошвою, що зривається, у зоні впливу очисних робіт: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.15.04. / Лозовський Сергій Петрович; Національний гірничий університет. - Дніпропетровськ, 2004. – 13 с.

71. **Рязанцев, О.П.** Обґрунтування параметрів способу забезпечення стійкості капітальних виробок вугільних шахт в умовах нестійких порід подошви: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.04 / Рязанцев Олександр Петрович; Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ, 2004. – 16 с.

72. **Гапєєв, С. М.** Закономірності втрати пружнопластичної стійкості складноструктурного масиву навколо одиночної виробки: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.15.09 / Гапєєв Сергій Миколайович; Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ, 2004. – 18 с.

73. **Глушко, В. Т.** Инженерно-геологическое прогнозирование устойчивости выработок глубоких шахт/ Глушко В.Т., Криничанский Г.Т.- М.:Недра,1974.-196 с.

74. **Шмыков, И. П.** Некоторые закономерности явлений вспучивания пород в подготовительных выработках шахт Донбасса // Научные проблемы вскрытия и разработки месторождений полезных ископаемых. ИГД им. А.А. Скочинского.- М.: Изд. АН СССР, 1959. – С. 103-110.

75. **Шмыков, И. П.** Использование шахтных наблюдений для расчета интенсивности пучения пород в подготовительных выработках на глубоких горизонтах // Разработка месторождений полезных ископаемых.- М.: Недра, 1965 – С. 165-171.

76. **Пяткин, А. М.** Некоторые закономерности пучения подошвы горных выработок // Шахтное строительство, 1962. – №9. – С. 13-15.

77. **Шестаков, Г. П.** Особенности пучения пород в различных горногеологических условиях их залегания [Текст] // Уголь Украины. – 1993. – №2. – С. 37-38.

78. **Черняк, И. Л.** Метод распознавания устойчивости почвы горных выработок [Текст] // Вопросы горного дела, МГИ. – М.: «Недра», 1967. – С. 324-331.

79. **Шашенко, А.Н.** Критерий устойчивости в задаче о пучении пород почвы подземной выработки / Шашенко А.Н., Каганов М.Е., Роечко А.Н. // Изв. вузов. Горный журнал. – 1994. – № 1. – С. 44-46.

80. **Шашенко, А.Н.** Устойчивость почвы горных выработок, пройденных в слоистом породном массиве / Шашенко А.Н., Роечко А.Н. // Изв. вузов. Горный журнал. – 1994. – №2. – С. 31-33.

81. **Шашенко, А.Н.** Численное моделирование процесса потери упругопластической устойчивости породного массива в окрестности одиночной выработки / Шашенко А.Н., Гапеев С.Н., Янко В.И // Сб. науч. тр. НГУ. – 2002. – №15. – С.29-34.

82. **Роечко, А.Н.** Новый подход к исследованию явления пучения пород для обоснования мер борьбы с ним // Уголь Украины. – 1997. – №2-3. – С. 20-22.

83. **Роечко, А.Н.** Численное исследование нового подхода к изучению пучения пород почвы выработок // Уголь Украины. – 2001. – № 9. – С. 6-7.

84. **Роечко, А.Н.** Моделирование устойчивости почвы выработки в слоистом породном массиве // Уголь Украины. – 2002. – № 9. – С. 9-10.

85. **Заславский, Ю. З.** Крепление капитальных выработок на больших глубинах / Ю. З. Заславский, Ф. И. Перепичка. – Донецк:«Донбасс», 1971. – 120 с.

86. **Литвинский, Г. Г.** Механизм пучения пород почвы подготовительных выработок // Уголь. – 1987. – №2. – С. 15-17.

87. **Касьяненко, А.Л.** Дослідження механізму складкоутворення міцних порід підосви в умовах глибоких шахт / А.Л. Касьяненко, Г.І. Соловійов // Тези VIII Всеукраїнської наукової конференції студентів, магістрів та аспірантів «Сучасні проблеми екології та геотехнологій», м. Житомир. 23-25 березня 2011 року [Текст] / Житомир. держ. технол. ун-т [та ін.]. - Житомир: ЖДТУ, 2011. – С. 264 – ISBN: 978-966-683-285-9

88. **Литвинский, Г.Г.** Эффективные способы предотвращения пучения пород в шахтах [Текст] / Литвинский Г.Г., Бабиюк Г.В., Быков А.В.– Обзорная информация / ЦНИЭИуголь ЦБНТИ Минуглепрома УССР, М., 1985 – 48 с.

89. **Петренко, Ю.А.** Шахтные исследования продолжительности эффекта локальной разгрузки породного массива [Текст] / Ю.А. Петренко, А.В. Захаренко, С.В. Захаренко // Известия Донецкого горного института. – 2000. – №1. – С. 12-14.

90. Управление синергетикой системы «крепление – породный массив» для обеспечения устойчивости подготовительных выработок глубоких шахт [Текст]: отчет о НИР (заключ.) / ГВУЗ ДонНТУ; рук. С.В. Подкопаев; исполн.: Г.И. Соловьёв [и др.]. – Донецк, 2007. – 360 с. – Госрег. № 0105U002291.

91. **Зборщик, М. П.** Охрана выработок глубоких шахт в зонах разгрузки / М. П. Зборщик, В. В. Назимко. – К.: «Техніка», 1991. – 248 с.

92. **Борzych, А.Ф.** Особенности взаимодействия поддерживающего целика с вмещающими породами / А.Ф. Борzych, Г.А. Аверин, Е.В. Кирьяева // Уголь Украины. – 1989. – №1. – С.15-17.

93. **Борzych, А.Ф.** Устойчивость проводимых за лавой присечных выработок / А.Ф. Борzych, В.И. Радченко // Уголь. – 1990. – №9. – С.53-57.

94. **Зборщик, М. П.** Выбор способов охраны и места расположения подготовительных выработок / М. П. Зборщик, А. С. Братишко, В. П. Прокофьев – К.: «Техніка», 1970. – 227 с.

95. **Литвинский, Г.Г.** Опытнo-промышленные испытания борьбы с пучением почвы АРПУ [Текст] / Г. Г. Литвинский, И.Н. Захарченко // Уголь Украины. – 1974. – №8. – С. 17-18.

96. **Мельников, Н. И.** Анкерная крепь. / Н. И. Мельников. – М.: «Недра», 1980. – 252 с.

97. **Глушко, В. Т.** Анкерное крепление пучащей почвы выработок [Текст] / В. Т. Глушко // Шахтное строительство – 1958. – №12. – С.14-17.

98. **Северьянов, А. Н.** Исследование влияния полимерной анкерной крепи на пучение пород почвы в подготовительных выработках [Текст] / А.Н. Северьянов, А. И. Хайкин, В. Н. Чураков // Уголь. – 1988. – №10. – С.25-26.

99. **Негрей, С.Г.** О возможности предотвращения повторного пучения пород почвы горных выработок после их подрывки [Текст] / С.Г. Негрей // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2005. – №2. – С. 65-68.

100. **Негрей, С.Г.** Обоснование параметров механического отпора породам почвы выемочных выработок при отработке лав обратным ходом: [Текст] Дисс... канд. техн. наук: 05.15.02. / Негрей Сергей Григорьевич. – Донецк, 2007. – 296 с.

101. **Соловьёв Г. И.** Комбинированные способы обеспечения устойчивости подготовительных выработок глубоких шахт Донбасса / Г. И. Соловьёв, А. Л. Касьяненко // Збірник матеріалів регіональної науково-практичної конференції «Геотехнології і охорона праці у гірничій промисловості» (Красноармійський індустріальний інститут ДонНТУ, 29 травня 2008 р.). – Донецк: ООО «Цифровая типография», 2008. – С. 25-32.

102. **Касьяненко А. Л.** О вдавливанні ножек арочної крепи в почву выработки / А. Л. Касьяненко, Г. И. Соловьёв, В. Е. Нефёдов // Геотехнологии и управление производством XXI века: материалы II международной научно-практической конференции (Донецк, 15 апреля 2008 г.). – Донецк: ДонНТУ, 2008. – С. 51-54.

103. **Касьяненко, А.Л.** Обеспечение устойчивости подготовительных выработок в условиях шахты им. Е. Т. Абакумова ГП «ДУЭК» [Текст] / А. Л. Касьяненко, П.В. Загородько, А. П. Тимохин // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Сб. научн. трудов.– Донецк: «Норд – Пресс», 2010. – Вып. 16. – С. 49-51.

104. **Пат. 2078932 РФ МПК<sup>6</sup> E21D 11/14.** Штрековая усиливающая крепь / Касьянов В.В., Чиненов В.М. – № 92007399/03, заявл. 18.11.1992, опубл. 10.05.1997. – 3 с. : ил.

105. **Пат. 2103514 РФ МПК<sup>6</sup> E21D 11/14.** Способ поддержания горной выработки при разработке пластовых месторождений / Жихарев С.Я., Габов В.В. [и др.] – № 95107617/03, заявл. 12.05.1995, опубл. 27.01.1998 – 3 с. : ил.

106. **Пат. 1567786 СССР МПК<sup>6</sup> E21D 11/14.** Способ поддержания горной выработки / Вайгандт А.А., Беликов А.К. – № 4474003/23-03, заявл. 15.08.1988, опубл. 30.05.1990, Бюл. №20. – 3 с. : ил.

107. **Пат. 1559175 СССР МПК<sup>6</sup> E21D 11/00, 13.02.** Способ крепления горной выработки / Касьян Н.Н., Ключев А.П. [и др.] – № 4454398/23-03, заявл. 05.07.1988, опубл. 23.04.1990, Бюл. №15. – 2 с. : ил.



108. **Соловьёв, Г. И.** О способах предотвращения выдавливания пород почвы выемочных выработок глубоких шахт [Текст] / Г. И. Соловьёв, А. Л. Касьяненко [и др.] // Збірник матеріалів регіональної науково-практичної конференції «Геотехнології і охорона праці у гірничій промисловості» (Красноармійський індустріальний інститут ДонНТУ, 16 вересня 2009 р.). – Донецьк: ООО «Цифровая типография», 2009. – С.85-92.

109. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Изд. 4-е, дополненное. – Л.: ВНИМИ, 1986. – 122 с.

110. **СНиП II–94–80.** Подземные горные выработки [Текст] / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1982. – 31 с.

111. **СОУ 10.1.00185790.011:2007.** Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони [Текст] / Мінпаливенерго України. – Київ, 2007. – 113 с.

112. **КД 12.01.01.201–98.** Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания. – Донецьк: УкрНИМИ, 1998. – 149 с.

113. **КД 12.01.01.503–2001.** Управление кровлей и крепление во очисных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°. Руководящий нормативный документ государственного департамента угольной промышленности министерства топлива и энергетики Украины. – К.: Минтомэнерго Укаины, 2002. – 141 с.

114. **Кошелев, К. В.** Охрана и ремонт горных выработок [Текст] / К. В. Кошелев, Ю. А. Петренко, А. О. Новиков. – М.: Недра, 1990. – 218 с.

115. **Дрибан, В. А.** Определение критерия устойчивости выработок / В. А. Дрибан, И. А. Южанин, А. М. Терлецкий // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк, 2010. – № 7. – С. 190-198. – ISSN 1996-885X

116. **Шашенко, А. Н.** Оценка устойчивости пород почвы горных выработок [Текст] / Шашенко А. Н., Солодянкин А.В. // Проблеми гірського тиску / під заг. ред. О. А. Мінаєва. – Донецьк, ДонНТУ, 2004. – Вип. 14 – С. 67-72.

117. **Ставрогин, А.Н.** Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах / Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. – М.: «Недра», 1985. – 271 с.

118. **Суворов, Н.Я.** Влияние крепости горных пород на устойчивость капитальных выработок, закрепленных мелкогабаритными тубингами / Н. Я. Суворов, М. И. Чугай // Изв. вузов. Горный журнал. – 1970. – №6. – С.32–34.

119. **Андриенко, В.М.** Определение средней прочности пород, участвующих в смещении контура выработки / В.М. Андриенко// Уголь Украины. –1995.–№7.– С. 8–9.

120. **Ерофеев, Л.М.,** Повышение надежности крепи горных выработок / Л.М. Ерофеев, Л.А. Мирошникова – М.: «Недра», 1988. – 245 с. – ISBN 5-247-00143-5

121. **Баклашов, И.В.** Механика подземных сооружений и конструкция крепи / Баклашов И.В., Картозия Б.А. – М.: Недра, 1984. – 414 с.

122. **Литвинский, Г. Г.** Фундаментальные закономерности и новая классификация проявлений горного давления [Текст] / Г. Г. Литвинский // Наукові праці ДонНТУ: Серія «Гірничо-геологічна» – ДонНТУ, Донецьк, 2009. – Вип. 10 (151). – С. 21-28.

123. Экспериментальные исследования пучения пород почвы подготовительных выработок на пологих пластах Донбасса [Текст]: монография / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович [и др.]. – Днепропетровск: ЛізуновПрес, 2014. – 224 с.

124. **Литвинский, Г.Г.** Особенности и закономерности пучения слоистых пород почвы горных выработок [Текст] / Г.Г. Литвинский, Э. В. Фесенко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 61. – С. 101-110.

125. **Соловьёв, Г.И.** О критерии устойчивости прочных пород почвы выемочных выработок глубоких шахт [Текст] / Г.И. Соловьёв, А.Л. Касьяненко [и др.] // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Промышленная безопасность и вентиляция подземных сооружений в XXI столетии» – ДонНТУ, Донецьк, 2011. – С. 36-40.

126. **Касьяненко, А.Л.** Исследование устойчивости прочных пород почвы на шахте им. Е. Т. Абакумова ГП «Донецкая Угольная Энергетическая Компания» / А.Л. Касьяненко, Г.И. Соловьёв, Ю.М. Мороз // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Сборник научных трудов. – Донецк: «Норд-Пресс», 2011. – Вып. 17. – С. 190-191.

127. **Касьяненко, А.Л.** Исследование влияния толщины прочного слоя пород на устойчивость почвы горных выработок [Текст] / А.Л. Касьяненко, С.В. Родзин // XII международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и преподавателей среднего профессионального образования – Чита: ЗабГК, 2012. – С. 24. – ISBN 9785990290020.

128. **Халкечев, К.В.** Разработка теории механических процессов в породных массивах с различными уровнями масштабов неоднородности и нарушенности при ведении горных работ: Автореф... дис... докт. техн. наук : 05.15.11 / Халкечев Кемал Владимирович; МГГУ. – Москва, 1994. – 35 с.

129. **Езекиэл М.** Методы анализа корреляций и регрессий [Текст] / Мордэкэй Езекиэл, Карл А. Фокс. – М.: Статистика, 1966. – 557 с.

130. **Кузнецов, Г. Н.** Методы и средства решения задач горной геомеханики / Г. Н. Кузнецов, К. А. Ардашев, Н. А. Филатов [и др.] – М.: Недра, 1987. – 248 с.

131. **Фадеев, А. Б.** Метод конечных элементов в геомеханике [Текст] – М.: Недра, 1987. – 221 с.

132. **Баклашов, И.В.** Деформирование и разрушение породных массивов. – М.: Недра, 1988. – 271 с.

133. **Литвинский, Г.Г.** Аналитическая теория прочности горных пород и массивов. – Монография/ДонГТУ. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 207 с.

134. **Бертяев В.Д.** Теоретическая механика на базе Mathcad. Практикум. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752 с. – ISBN 5-94157-625-0.

135. **Paul M. Kurowski.** Engineering Analysis with COSMOSWorks Professional. Finite Element Analysis with COSMOSWorks 2005. – Schroff Development Corporation, 2005. – 248 с.

136. **Алямовский, А. А.** SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.

137. **Алямовский, А. А.** SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов, А. И. Харитонович, Н. Б. Пономарев // СПб.: БХВ – Петербург, 2008. – 1040 с.

138. **Фесенко, Э. В.** Прогноз и закономерности пучения слоистых пород почвы горных выработок [Текст]: Дис... канд. техн. наук: 05.15.04. / Фесенко Эдуард Викторович; Национальный горный университет – Днепрпетровск, 2005. – 187 с.

139. **Варданыч, Г. С.** Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности / Г. С. Варданыч, В. И. Андреев, Н. М. Атаров, А. А. Горшков – М.: «АСВ», 1995. – 568 с.

140. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / Под ред. Н. В. Мельникова, В. В. Ржевского, М. М. Протодяконова. – М.: «Недра», 1975. – 279 с.

141. **Глушихин, Ф.П.** Моделирование в геомеханике [Текст] / Глушихин Ф.П., Кузнецов Г.Н., Шклярский и др.– М.: Недра, 1991. – 240 с.

142. **Кузнецов, Г. Н.** Изучение проявления горного давления на моделях // М.: Углетехиздат, 1959. – 218 с.

143. **Кузнецов, Г. Н.** Моделирование проявлений горного давления [Текст] / Кузнецов Г. Н., Будько М. Н., Васильев Ю. И., Шклярский М. Ф., Юревич Г. Г.– Л.: Недра, 1968. – 280 с.

144. **Chudek, M.** Исследования проявлений горного давления в выемочных выработках глубоких шахт методом объемного моделирования / M. Chudek, Г. И. Соловьёв, А. Л. Касьяненко [и др.] // IX Szkoła geomechaniki: материалы международной конференции. – Гливице-Устронь, 2009. – С. 241-256.

145. Требования по технике и методике моделирования методом эквивалентных материалов [Текст]: Утв. Техн. упр. МУП СССР 27.12.72. / М–в угольной промышленности СССР, ВНИМИ. – Л., 1973. – 56 с.

146. **Соловьёв, Г. И.** Лабораторные исследования особенностей механизма проявления горного давления на контуре выемочных выработок глубоких шахт [Текст] / Г. И. Соловьёв, А. Л. Касьяненко [и др.] // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Гірничо-геологічна» – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2010. – вип. 11(161) – С. 100-107.

147. **Ямщиков, В. С.** Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов. – М.: «Недра», 1982. – 296 с.

148. Методические указания по исследованию горного давления на угольных и сланцевых шахтах [Текст] – Л.: ВНИМИ, – 1973. – 102 с.

149. **КД 12.06.204-99.** Геологічні роботи на вуглевидобувних підприємствах України: Інструкція: Керівн. норматив, док. М-ва палива та енергетики України Чинний від 2001-07-01 / Розроб.: М.Я. Азаров, А.В. Анциферов та ін.; Редкоміс.: М. Е. Капланець (голова) та ін. – Донецьк: ТОВ «АЛАН», 2001. – 384 с.

150. Методика упрощенных наблюдений по определению параметров проявлений горного давления в подготовительных выработках и оценки применяемых способов их охраны / Э.А. Феликс, В.М. Кулешов - Донецк: Украинский филиал ВНИМИ, 1981. – 12 с.

151. **Kasyanenko, A.** Study of floor heaving in the mine working of a coal mine by monitoring method [Текст] / A. Kasyanenko, G. Solovyov, R. Yastremskiy // 2nd International Scientific Meeting: State And Trends Of Civil Engineering GTZ 2012 and 2nd Conference GEO-EXPO 2012 – Tuzla, June 07-09, 2012. – pp. 549-556. – ISBN 978-9958-628-16-0

152. **Пат. 61589 Україна, МПК<sup>8</sup> E21D 11/14.** Спосіб підтримання гірничих виробок [Текст] / Г.І. Соловійов, А.Л. Касьяненко; заявник і власник Донецький національний технічний університет. – № u201015385; заявл. 20.12.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14. – 3 с.

153. **Пат. 99028 Україна, МПК<sup>8</sup> E21D 11/14.** Спосіб підтримання гірничих виробок [Текст]/ Соловійов Г.І., Касьяненко А.Л.; заявник і власник Донецький національний технічний університет. – № a201015254; заявл. 25.06.2012; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13. – 2 с.

154. **Пат. 74676 Україна, МПК<sup>8</sup> E21D 11/14.** Спосіб охорони виїмкових виробок у шаруватих породах підшви, схильних до здимання [Текст] / Г. І. Соловійов, А.Л. Касьяненко, Е.В. Поляков; заявник і власник Донецький національний технічний університет. – № u201204015; заявл. 02.04.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21 – 8 с.

155. **Пат. 103110 Україна, МПК<sup>8</sup> E21D 11/00, E21D 20/00, E21C 41/18.** Спосіб охорони виїмкових виробок у шаруватих породах підшви, схильних до здимання [Текст] / Г.І. Соловійов, А.Л. Касьяненко, Е.В. Поляков; заявник і власник Донецький національний технічний університет. – № a201203091; заявл. 16.03.2012; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17 – 8 с.

156. **Тугинас, В. В.** О расчете предельных нагрузок и устойчивости при разломах слоев горных пород [Текст] / В. В. Тугинас, Н. А. Филиппов // Разработка месторождений полезных ископаемых: Республ. межвед. научно-техн. сб-к. – Киев: «Техніка», 1985. – Вып. 72. – С. 47-51.

157. **Соловьев, В. Н.** К расчету устойчивости подготовительных выработок на пологих пластах [Текст] / В. Н. Соловьев // Разработка месторождений полезных ископаемых: Республ. межвед. научно-техн. сб-к. – Киев: «Техніка», 1974. – Вып. 38. – С. 48-50.

158. **Касьяненко, А. Л.** К вопросу расчета смещений пород почвы горных выработок [Текст] / А. Л. Касьяненко, И. С. Ковальчук, Г.В. Горбылёв // Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Опыт прошлого – взгляд в будущее». – Тула: ТулГУ, 2013. – С. 41-47.

159. **Касьяненко, А. Л.** Аналитические исследования влияния системы «крепь усиления-прочный слой» на выдавливание пород почвы горных выработок / А.Л. Касьяненко, И.С. Ковальчук // Инновационные перспективы Донбасса: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Донецк, 20-22 мая 2015 г. Т. 1: Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве. – Донецк: ДонНТУ, 2015. – С.141-147.

160. **Kasyanenko, A.** Study of effect hard rock layer has on floor heaving in coal mine by finite element method [Текст] / A. Kasyanenko, S. Rodzin // 12th International Scientific Conference iNDiS 2012: Planning, Design, Construction and Renewal in the Civil Engineering – Novi Sad, November 28-30, 2012. – pp. 375-382. – ISBN 978-86-7892-453-8

161. **Касьяненко, А. Л.** Исследование особенностей деформирования пород почвы выработки, вмещающих прочный слой / А.Л. Касьяненко, Г.И. Соловьёв, Н.Н. Малышева // Инновационные перспективы Донбасса: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Донецк, 27 мая 2016 г. Т. 1: Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве. – Донецк: ДонНТУ, 2016. – С. 63-70.

162. **Алексеев, А.Д.** Исследование горных пород при объёмном нагружении применительно к выбору рационального взаимодействия системы «порода - крепь» [Текст] / А. Д. Алексеев, Н. В. Недодаев // Тезисы докладов всесоюзной научной конференции «Технические проблемы высокопроизводительной разработки тонких и средней мощности угольных пластов на глубоких горизонтах». Секция I. «Управление горным давлением, охрана и новые вида крепи горных выработок». / Донецкий ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт. – Донецк, 1980. – С. 26-28.

163. **Григорьев, В. Л.** Проведение, крепление и поддержание участковых выработок на глубоких шахтах Донецкого бассейна [Текст] / В.Л. Григорьев // Добыча угля подземным способом: Науч.-техн. реф. сб. – М.:ЦНИЭИуголь, 1981. – № 8. – С. 20-23.

164. **Беликов, А. В.** Обоснование применения в подготовительных выработках угольных шахт крепей усиления с высокой несущей способностью [Текст] / А. В. Беликов // Горный информационно-аналитический бюллетень: научно-техн. журнал. – М.: ООО «Горная книга», 2007. – №8. – С. 68-72.

165. **Сарычев, В. И.** Расчетная модель геомеханической системы «комбинированная крепь - слоистый массив пород» [Текст] / В. И. Сарычев, С. И. Шестаков // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки – Тула, 2009. – Вып. № 3. – С. 272-281.

166. **Халимендик, Ю. М.** Усиление крепления подготовительных выработок для их повторного использования [Текст] / Ю.М. Халимендик, А.В. Бруй, А. С. Барышников, Ю.А. Заболотная // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2012. – Вып. 105. – С. 139-148.

167. **Зборщик, М. П.** Повторное использование выработок высоконагруженных лав – крупный резерв снижения производственных затрат [Текст] / М. П. Зборщик, И. Г. Сахно // Уголь Украины. – 2013. – № 8. – С. 6-12.

168. **Халимендик, Ю. М.** О деформировании системы «крепь-массив» в условиях слоистых пород глубоких шахт [Текст] / Ю. М. Халимендик, А. С. Барышников, В. Ю. Халимендик // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк, 2014. – № 14. – С. 100-112. – ISSN 1996-885X.

169. **Халимендик, Ю. М.** Влияние отпора крепи на деформирование подготовительных выработок в зоне воздействия очистных работ [Текст] / Ю. М. Халимендик, А.С. Барышников // Розробка родовищ: Зб. наук. пр. – Дніпропетровськ: «Літограф», 2015. – Т. 9. – С. 85-91.

170. **Касьяненко, А. Л.** Новый подход к методике выбора способов охраны выработок глубоких шахт [Текст] / В. Н. Мокриенко, А. Л. Касьяненко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк, 2012. – № 10. – С. 362-386.

171. **Касьяненко, А.Л.** Обеспечение устойчивости почвы выемочных выработок упорно-силовым противодействием [Электронный ресурс] – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) / А.Л. Касьяненко // VI Международной научно-практической конференции «Донбасс-2020: перспективы развития глазами молодых ученых». – ДонНТУ, Донецк, 2012. – С. 67-71. – Режим доступа: <http://2020.donntu.org/archive/2012.zip> – Загл. с экрана. – 04.10.2016.

172. **Соловьёв, Г.И.** О механизме упорно-жесткого противодействия выдавливанию крепких пород почвы конвейерного штрека в условиях пласта  $m_3$  шахты им. Е.Т. Абакумова [Текст] / Г.И. Соловьёв, А.Л. Касьяненко // Вісті Донецького гірничого інституту. – Донецьк, 2012. – №1. – С. 250-258. – ISSN 1999-981X.

173. **Литвинский, Г.Г.** Влияние пассивного отпора пород на работоспособность арочной рамной крепи / Г. Г. Литвинский, Е. Е. Павлов // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск: ДонГТУ, 2010. – Вып. 30 – С. 5-15. – ISSN 2077-1738.

174. Рекомендации по варианту заложения западного полевого конвейерного штрека и охране 8-го западного конвейерного штрека пласта  $m_3$  ОП «Шахта им. Е. Т. Абакумова» ГП «ДУЭК» / рук. Н. Н. Касьян; исполнители: Г. И. Соловьёв, А. Л. Касьяненко [и др.]; ГВУЗ «ДонНТУ». – Донецк, 2010. – 59 с. – Режим доступа: <http://ea.donntu.org/handle/123456789/31227>. – Загл. с экрана. – 04.10.2016.

175. **Касьяненко, А.Л.** Опытнo-промышленная проверка новой конструкции крепи усиления [Текст] / А.Л. Касьяненко, Г.И. Соловьёв, С.В. Родзин // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Сб. научн. трудов. – Донецк: «Норд – Пресс», 2012. – Вып. 18. – С. 120-126.

176. **Касьяненко, А.Л.** Новый способ обеспечения устойчивости пород почвы выемочных выработок [Текст] / А.Л. Касьяненко // Проблемы горного давления: сборник научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2016. – Вып. 2 (29). – С. 17-26. – ISSN 1682-1092.



ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение А

Анализ состава углевмещающих пород Донецко-Макеевского района Донбасса  
(для глубин разработки более 1000 м)

Таблица А.1.

Литологический состав угленосных свит среднего карбона в Донецко-Макеевском районе Донбасса

Свита	Буквенный индекс	Литологический состав, %			
		Аргиллиты и алевролиты	Песчаники	Известняки	Уголь
$C_2^1$	F	78	19,7	2,0	0,3
$C_2^2$	G	79	19,9	0,6	0,5
$C_2^3$	H	64	33	0,9	2,1
$C_2^4$	J	65	33	1,3	0,7
$C_2^5$	K	60	36	2,2	1,8
$C_2^6$	L	69	25	3,5	2,5
$C_2^7$	M	70	27	2,1	0,9

Таблица А.2.

Значение прочности на одноосное сжатие углевмещающих пород в Донецко-Макеевском районе Донбасса

Порода	Статистические показатели прочности*				
	$\sigma_{сж}^{\min}$	$\sigma_{сж}^{\max}$	$\sigma_{сж}^{\text{ср}}$	$\Delta\sigma_{сж}^{\text{ср}}$	$\Delta$
Аргиллиты	16,1	57,8	39,8	10,2	36,9
Алевролиты	23,4	85,0	58,1	15,3	35,7
Песчаники	41,8	138,6	83,7	25,3	29,5
Известняки	38,1	193,0	121,3	45,8	42,7

\* где  $\sigma_{сж}^{\min}$  - минимальная прочность породы, МПа;  $\sigma_{сж}^{\max}$  - максимальная прочность породы, МПа;  $\sigma_{сж}^{\text{ср}}$  - среднее значение прочности породы, МПа;  $\Delta\sigma_{сж}^{\text{ср}}$  - среднее квадратичное значения прочности породы, МПа;  $\Delta$  - коэффициент вариации, %.

Таблица А.3.

Показатели толщины пород, залегающих первым слоем в текстуре пород почвы угольных пластов Донецко-Макеевского района Донбасса

Слой пород	Число скважино - пластов	% общего кол-ва	Статистические показатели **				
			$m_{\min}$	$m_{\max}$	$m_{\text{ср}}$	$\Delta m_{\text{ср}}$	$\Delta$
Уголь	701	100	0,5	2,95	1,1	0,47	42,3
Аргиллиты	71	9,3	0,7	11	2,2	2,2	100
Алевролиты	491	73	0,6	36	5,2	5,5	104
Песчаники	97	13	0,9	25	8,3	7,6	91
Известняки	42	4,7	1,3	11,3	4,71	2,37	50,4

Таблица А.4.

Показатели толщины второго слоя в текстуре пород почвы угольных пластов в Донецко-Макеевском районе Донбасса

Слой пород	% общего кол-ва	Статистические показатели **				
		$m_{\min}$	$m_{\max}$	$m_{\text{ср}}$	$\Delta m_{\text{ср}}$	$\Delta, \%$
Аргиллиты	13	0,5	16,2	2,31	2,45	106
Алевролиты	55	0,6	25	5,06	4,63	91,4
Песчаники	30	0,75	50,2	8,55	9,8	115
Известняки	2	0,25	5,6	2,9	0,8	24

\*\* где  $m_{\min}$  - минимальная толщина слоя, м;  $m_{\max}$  - максимальная толщина слоя, м;  $m_{\text{ср}}$  - среднее значение толщины слоя, м;  $\Delta m_{\text{ср}}$  - среднее квадратичное отклонение, м;  $\Delta$  - коэффициент вариации, %.

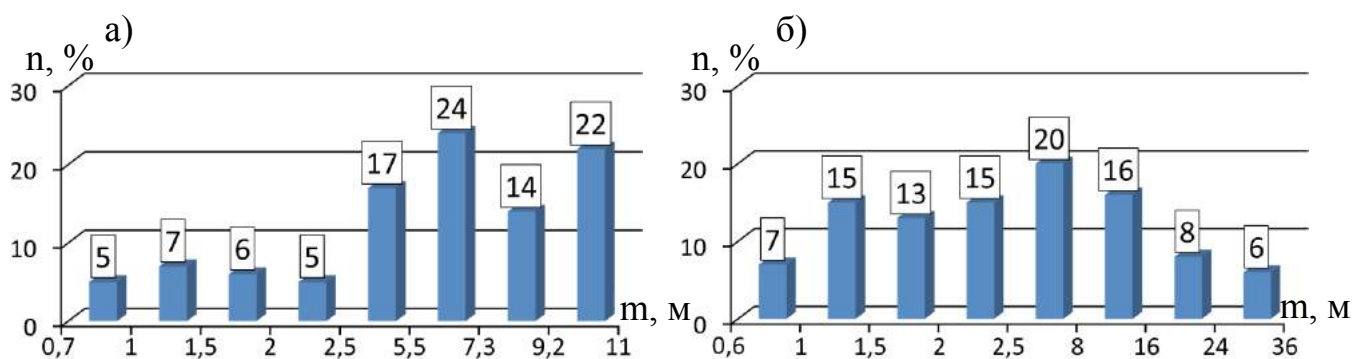


Рис. А.1. Гистограммы вероятности распределения (n) в текстуре пород почвы слабого слоя с толщиной (m), представленного: а – аргиллитами, б – алевролитами

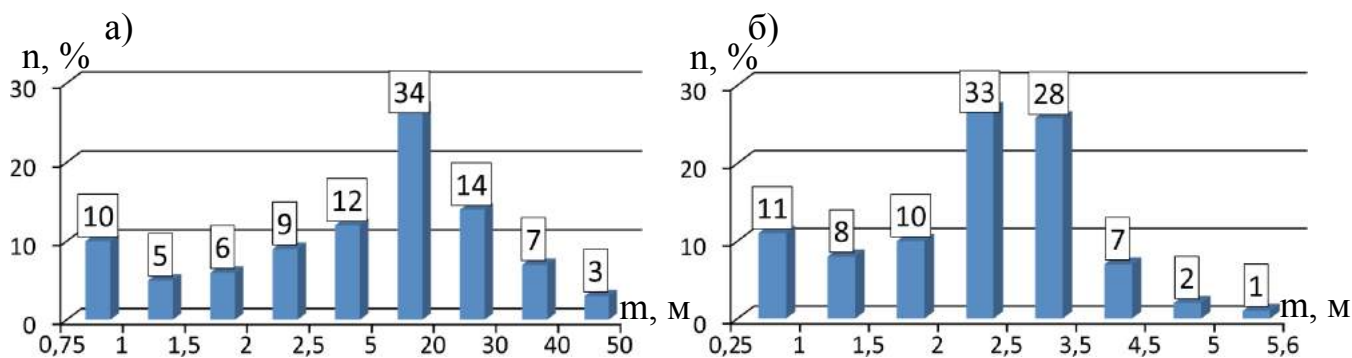


Рис. А.2. Гистограммы вероятности распределения (n) в текстуре пород почвы второго прочного слоя с толщиной (m), представленного: а – песчаниками, б – известняками.

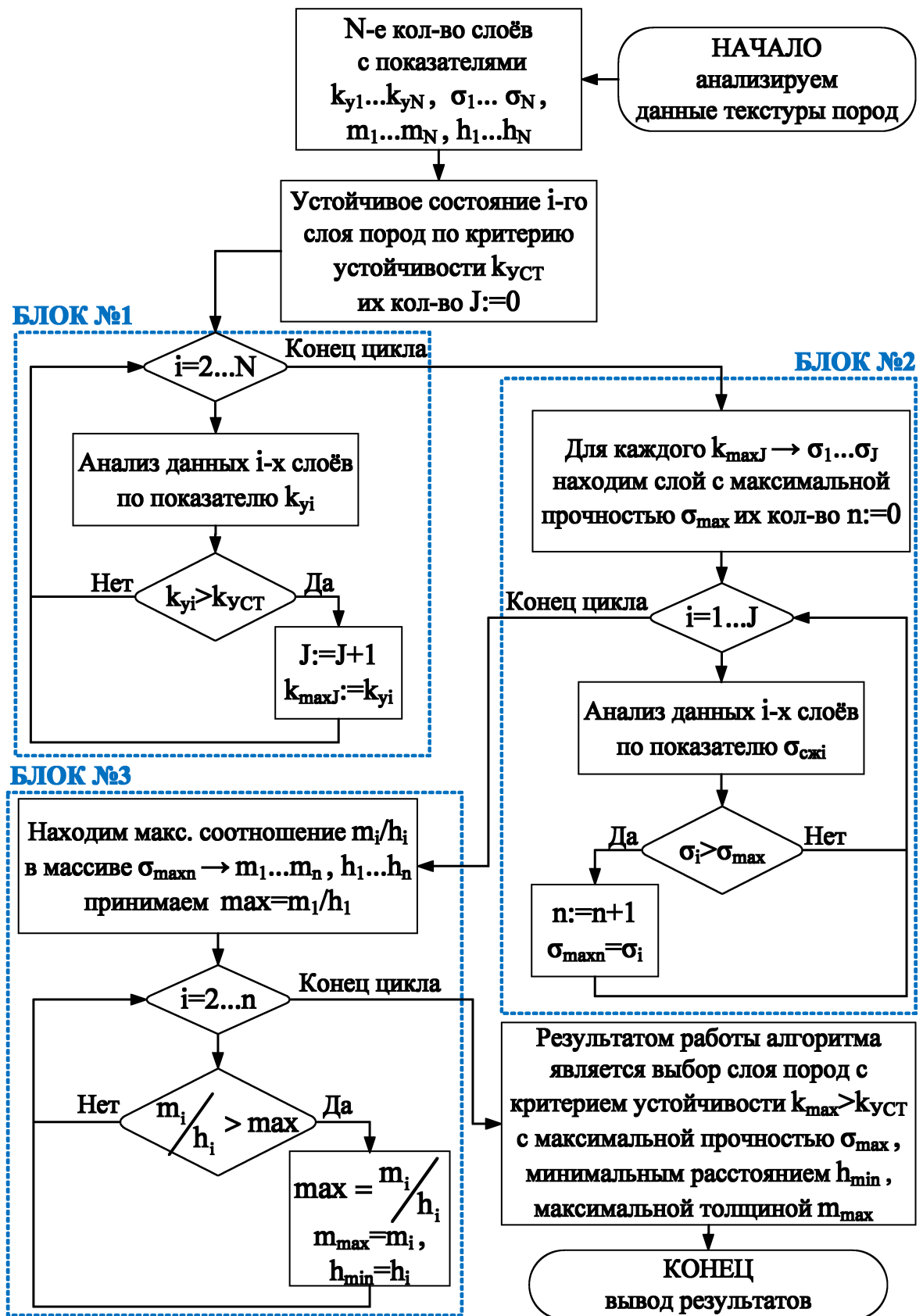
Таблица А.5.

Вероятность распределения состава слоёв пород в текстуре почвы угольных пластов Донецко-Макеевского района Донбасса

Породы первого слоя (слабый слой $\sigma_{сж}^{ср} < 60$ МПа) в текстуре почвы - случаев встречаемости, %		Породы второго слоя в текстуре почвы		
		Алевролиты, аргиллиты	(прочный слой $\sigma_{сж}^{ср} > 60$ МПа)	
			Песчаник	Известняк
		Процент чередования в почве, %		
		<b>68</b>	<b>30</b>	<b>2</b>
Аргиллиты -	11,3	7,7	3,4	0,2
Алевролиты -	88,7	60,3	26,6	1,8
из $\Sigma$ общих -	<b>82,3</b>	<b>56</b>	<b>26,3</b>	

## Приложение Б

Блок-схема алгоритма выбора «прочного слоя» в текстуре пород почвы



Блок №1 – отбор слоёв в почве по принятому критерию устойчивости  $k_{уст}$ ;

Блок №2 – отбор из массива устойчивых слоёв с максимальной прочностью  $\sigma_{max}$ ;

Блок №3 – отбор из массива слоёв с  $\sigma_{max}$  по максимальному соотношению  $m_i/h_i$ .

Приложение В  
Результаты аналитических исследований в MathCAD

Mathcad - [Прогибы слоя.xmcd]

File Edit View Insert Format Tools Symbolics Window Help

100%  $x = \int \frac{dx}{x}$

---

$V1(s) := \cosh(s) \cdot \cos(s) \quad V1(0) = 1$   
 $V2(s) := \frac{1}{2} \cdot (\cosh(s) \cdot \sin(s) + \sinh(s) \cdot \cos(s)) \quad V2(0) = 0$   
 $V3(s) := \frac{1}{2} \cdot (\sinh(s) \cdot \sin(s)) \quad V3(0) = 0$   
 $V4(s) := \frac{1}{4} \cdot (\cosh(s) \cdot \sin(s) - \sinh(s) \cdot \cos(s)) \quad V4(0) = 0$

---

$I(1, h) := \frac{1 \cdot h^3}{12} \quad I(4, 0.6) = 0.072 \quad W0 := 0$   
 $M(R, h) := R \cdot 10^6 \cdot \frac{4 \cdot h^2}{12} \quad M(120, 0.6) = 1.44 \times 10^7$   
 $M0(R, h) := -M(R, h) \quad M0(120, 0.6) = -1.44 \times 10^7$   
 $\beta(1, h, E) := \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)}} \quad \beta(4, 0.6, 8.5) = 1.034$

$Q0(R, h, 1, E) := M(R, h) \cdot \beta(1, h, E) \cdot \frac{4 \cdot V4(\beta(1, h, E) \cdot 1) \cdot V3(\beta(1, h, E) \cdot 1) + V1(\beta(1, h, E) \cdot 1) \cdot V2(\beta(1, h, E) \cdot 1) - V2(\beta(1, h, E) \cdot 1)}{4 \cdot V4(\beta(1, h, E) \cdot 1)^2 + V2(\beta(1, h, E) \cdot 1)^2} \quad Q0(120, 0.4$

$y0(R, h, 1, E) := \frac{M(R, h)}{\beta(1, h, E) \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot \frac{V3(\beta(1, h, E) \cdot 1)}{V2(\beta(1, h, E) \cdot 1)} - \frac{Q0(R, h, 1, E)}{\beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot \frac{V4(\beta(1, h, E) \cdot 1)}{V2(\beta(1, h, E) \cdot 1)}$

$\varphi(R, h, 1, x, E) := -4 \cdot \beta(1, h, E) \cdot V4(x \cdot \beta(1, h, E)) \cdot W0 + y0(R, h, 1, E) \cdot V1(x \cdot \beta(1, h, E)) + \frac{M0(R, h)}{\beta(1, h, E) \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot V2(x \cdot \beta(1, h, E)) +$   
 $\quad + \frac{1}{\beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot Q0(R, h, 1, E) \cdot V3(x \cdot \beta(1, h, E))$

$Mt(R, h, 1, x, E) := -4 \cdot \beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h) \cdot W0 \cdot V3(x \cdot \beta(1, h, E)) - 4 \cdot \beta(1, h, E) \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h) \cdot y0(R, h, 1, E) \cdot V4(x \cdot \beta(1, h, E)) +$   
 $\quad + M0(R, h) \cdot V1(x \cdot \beta(1, h, E)) + \frac{Q0(R, h, 1, E)}{\beta(1, h, E)} \cdot V2(x \cdot \beta(1, h, E))$

$Q(R, h, 1, x, E) := -4 \cdot \beta(1, h, E)^3 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h) \cdot W0 \cdot V2(x \cdot \beta(1, h, E)) - 4 \cdot \beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h) \cdot y0(R, h, 1, E) \cdot V3(x \cdot \beta(1, h, E)) -$   
 $\quad - 4 \cdot \beta(1, h, E) \cdot M0(R, h) \cdot V4(x \cdot \beta(1, h, E)) + Q0(R, h, 1, E) \cdot V1(x \cdot \beta(1, h, E))$

$U(R, h, 1, x) := W0 \cdot V1(x \cdot \beta(1, h, e(R))) + \frac{y0(R, h, 1, e(R))}{\beta(1, h, e(R))} \cdot V2(x \cdot \beta(1, h, e(R))) + \frac{M0(R, h)}{\beta(1, h, e(R))^2 \cdot (e(R) \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot V3(x \cdot \beta(1, h, e(R))) +$   
 $\quad + \frac{Q0(R, h, 1, e(R))}{\beta(1, h, e(R))^3 \cdot (e(R) \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot V4(x \cdot \beta(1, h, e(R)))$

$W(R, h, 1, x) := \frac{U(R, h, 1, x)}{U(R0, h, 1, x)}$

Рис. В.1. Листинг программы расчета прогибов балки в программе MathCAD

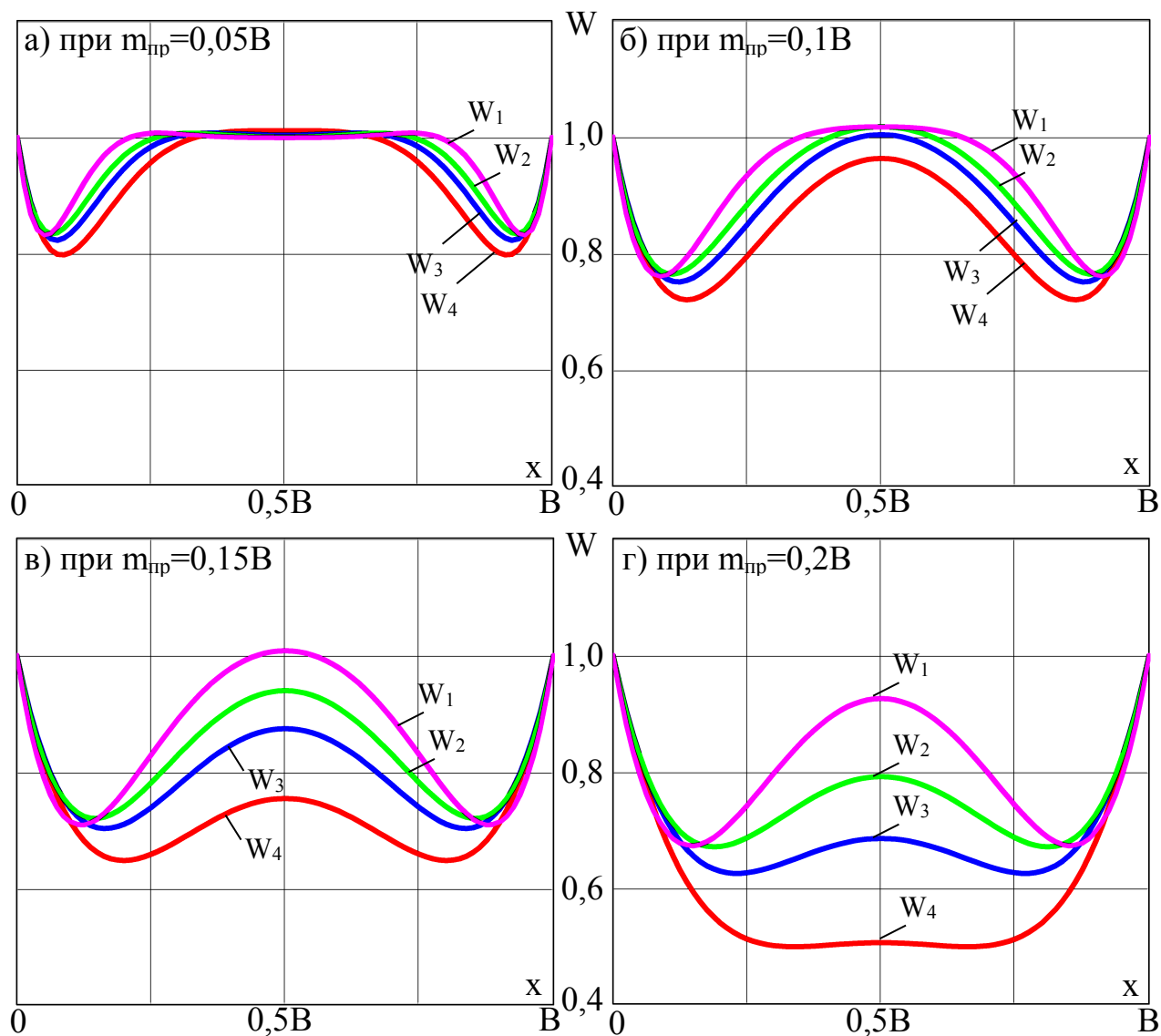


Рис. В.2. Графики функциональной зависимости прогибов  $W$  по длине балки  $l=B$  выработки от величины  $\sigma_{сж}^n$ : —  $W_1$  (АР); —  $W_2$  (АЛ); —  $W_3$  (П); —  $W_4$  (И), для каждого значения толщины  $m_{пр}$ , где: а)  $m_{пр}=0,05B$ ; б)  $m_{пр}=0,1B$ ; в)  $m_{пр}=0,15B$ ; г)  $m_{пр}=0,2B$ , при постоянных  $k$ ,  $l=const$ .

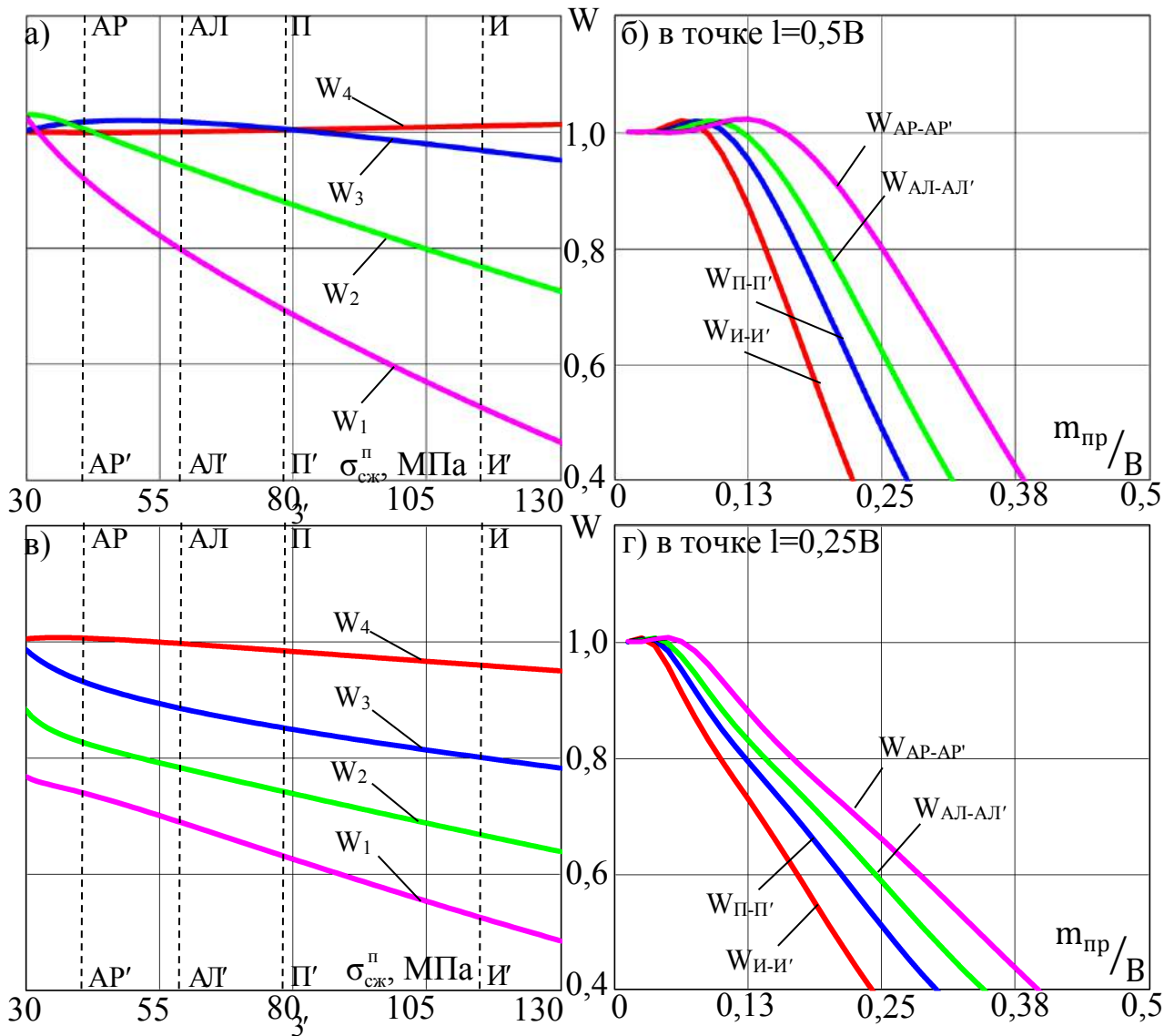


Рис. В.3. Графики функциональной зависимости прогибов  $W$  от  $\sigma_{сж}^{\text{II}}$  для толщин балки  $m_{\text{пр}}$  (а,в): —  $W_1$  ( $m_{\text{пр}}=0,2B$ ); —  $W_2$  ( $m_{\text{пр}}=0,15B$ ); —  $W_3$  ( $m_{\text{пр}}=0,1B$ ); —  $W_4$  ( $m_{\text{пр}}=0,05B$ ) и значений координаты  $x$  (б,г): —  $W_{\text{AP-AP}'}$  (AP) разрез AP-AP'; —  $W_{\text{AL-AL}'}$  (AL) разрез AL-AL'; —  $W_{\text{П-П}'}$  (П) разрез П-П'; —  $W_{\text{И-И}'}$  (И) разрез И-И', для фиксированных значений координаты  $x$ : а,б)  $l=0,5B$ ; в,г)  $l=0,25B$ , при постоянных  $l, k=const$ .



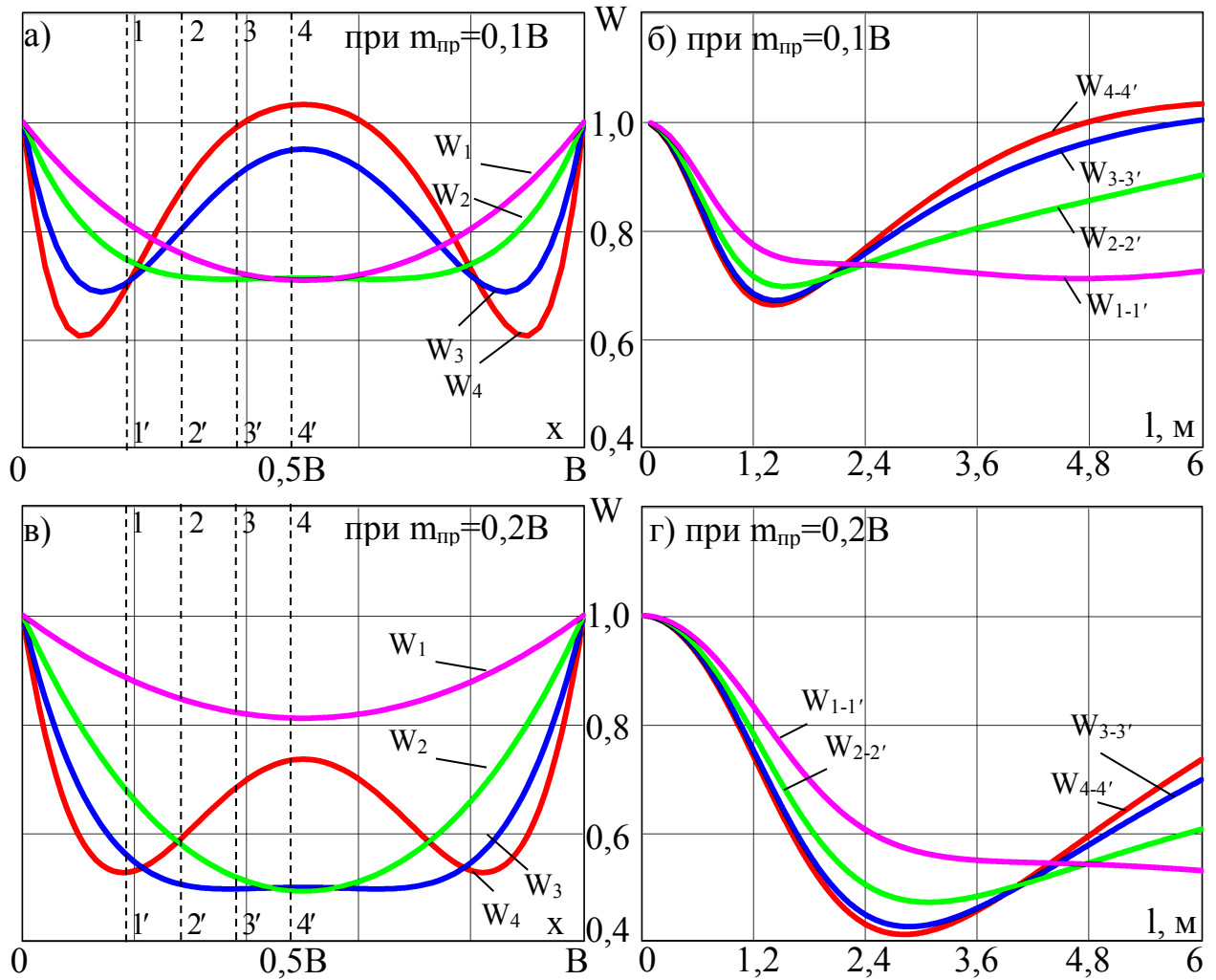


Рис. В.4. Графики функциональной зависимости прогибов  $W$  от длины балки  $l$  (а,в): —  $W_1$  ( $l=1$  м); —  $W_2$  ( $l=2$  м); —  $W_3$  ( $l=4$  м); —  $W_4$  ( $l=6$  м) и значений координаты  $x$  (б,г): —  $W_{1-1'}$  ( $x=0,2B$ ) разрез 1-1'; —  $W_{2-2'}$  ( $x=0,3B$ ) разрез 2-2'; —  $W_{3-3'}$  ( $x=0,4B$ ) разрез 3-3'; —  $W_{4-4'}$  ( $x=0,5B$ ) разрез 4-4', со значениями толщины балки: а,б)  $m_{np}=0,1B$ ; в,г)  $m_{np}=0,2B$ , при постоянных  $k, \sigma_{сж}^n = const$ .

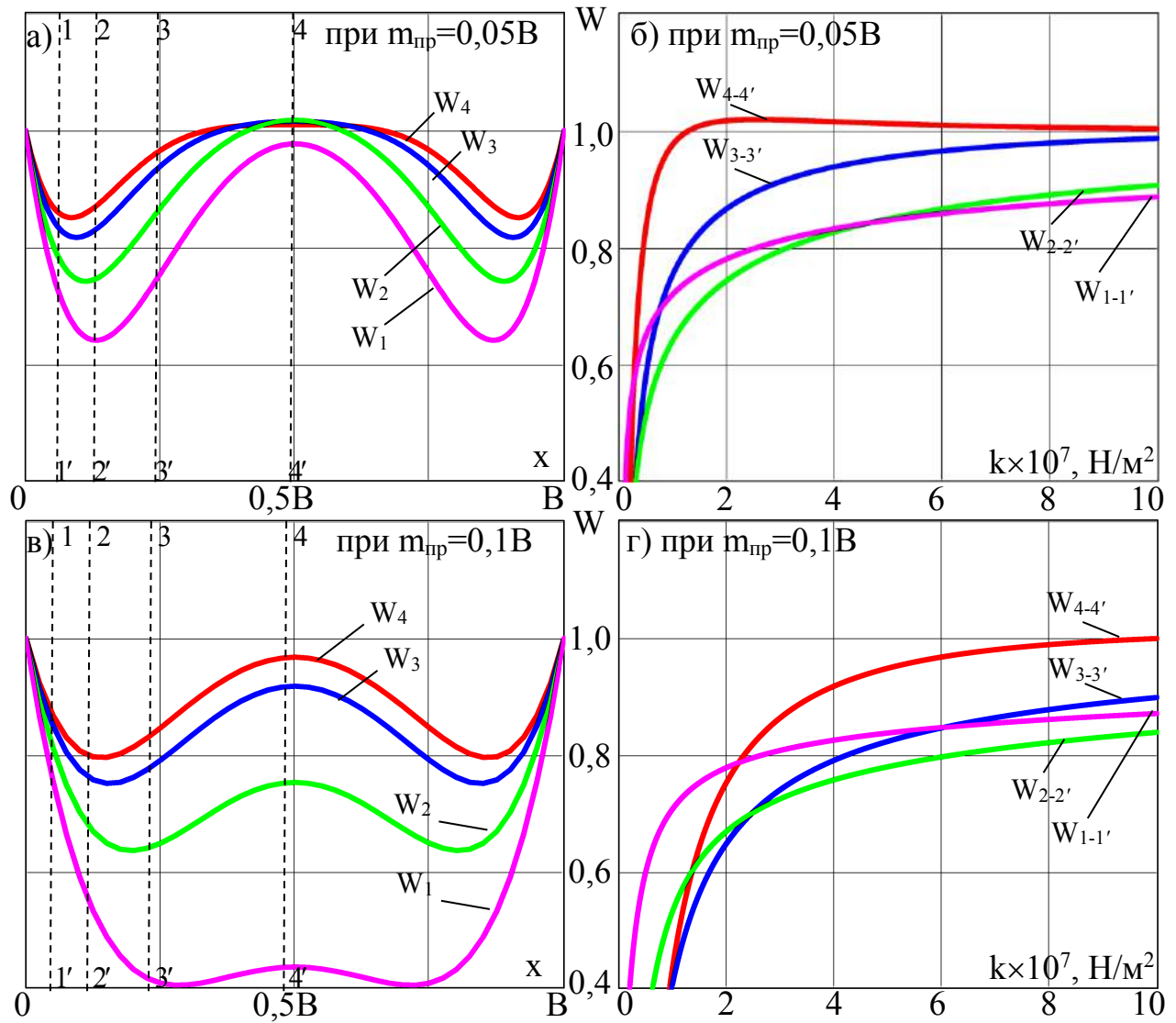


Рис. В.5. Графики функциональной зависимости прогибов  $W$  от коэффициента постели  $k$  (а,в): —  $W_1$  ( $k=1 \times 10^7 \text{ H/M}^2$ ); —  $W_2$  ( $k=2 \times 10^7 \text{ H/M}^2$ ); —  $W_3$  ( $k=4 \times 10^7 \text{ H/M}^2$ ); —  $W_4$  ( $k=6 \times 10^7 \text{ H/M}^2$ ) и значений координаты  $x$  (б,г): —  $W_{1-1'}$  ( $x=0,06B$ ) разрез 1-1'; —  $W_{2-2'}$  ( $x=0,13B$ ) разрез 2-2'; —  $W_{3-3'}$  ( $x=0,25B$ ) разрез 3-3'; —  $W_{4-4'}$  ( $x=0,5B$ ) разрез 4-4', со значениями толщины балки: а,б)  $m_{пр}=0,05B$ ; в,г)  $m_{пр}=0,1B$ , при постоянных  $l, \sigma_{сж}^{\Pi} = const$ .

## Приложение Г

## Результаты аналитических исследований в SolidWorks Simulation

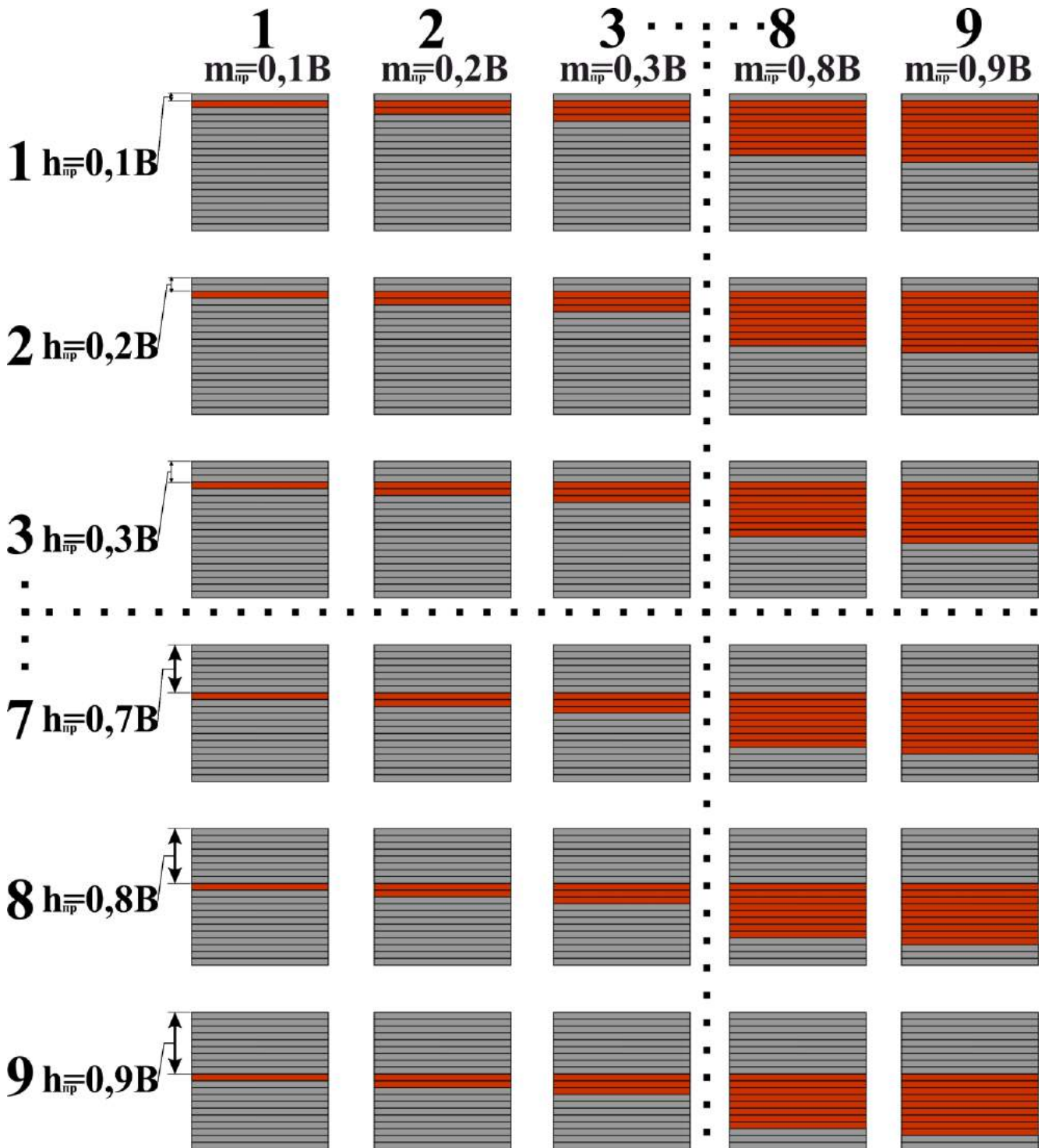


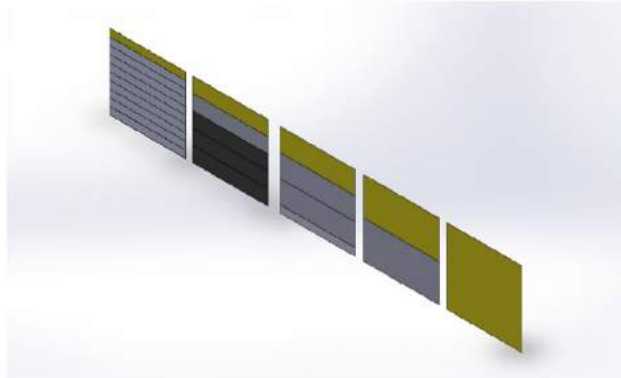
Рис. Г.1. Исследуемые модели текстур пород почвы в SolidWorks Simulation при наличии прочного слоя с вариациями толщины  $m_{\text{пр}}=0,1\div 0,9B$  и глубины его залегания  $h_{\text{пр}}=0,1\div 0,9B$  для трех их типов  $k_{\text{R}}^{\text{I}}$ ,  $k_{\text{R}}^{\text{II}}$ ,  $k_{\text{R}}^{\text{III}}$ .

## Simulation of Модели

Date: Jun 23 2013  
 Designer: Solidworks  
 Study name: Исследование 1  
 Analysis type: Static

### Table of Contents

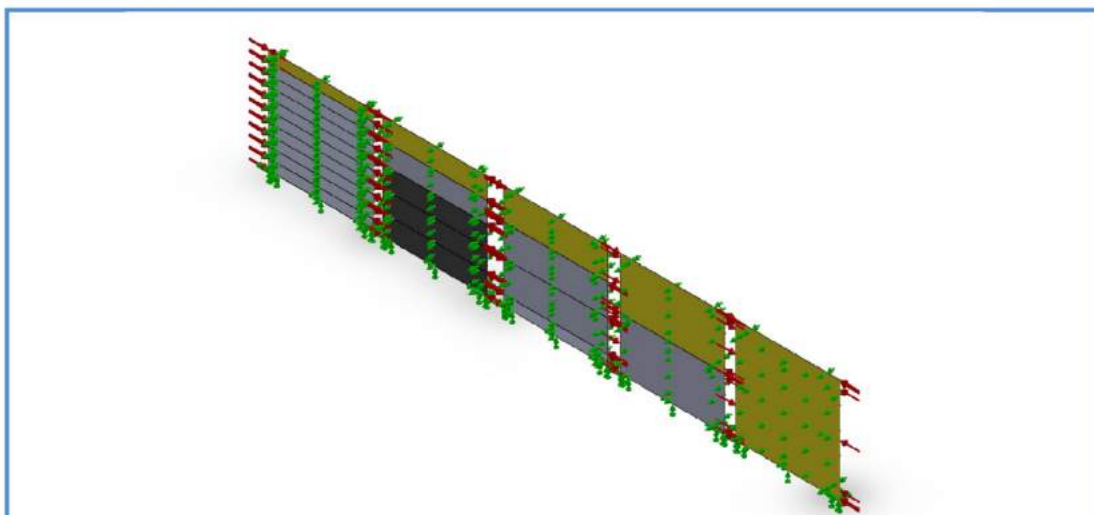
- Description..... 1
- Assumptions ..... 2
- Model Information ..... 2
- Study Properties ..... 6
- Units ..... 7
- Material Properties ..... 8
- Loads and Fixtures..... 10
- Connector Definitions ..... 11
- Contact Information..... 11
- Mesh Information ..... 12
- Sensor Details ..... 13
- Resultant Forces ..... 14
- Beams ..... 14
- Study Results ..... 15
- Conclusion ..... 17



### Description

No Data

### Assumptions Model Information



Model name: Модели  
 Current Configuration: По умолчанию

#### Solid Bodies

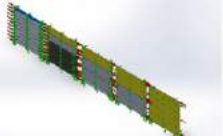
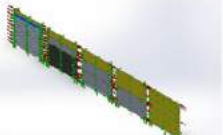
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
 Вытянуть1	Solid Body	Mass: 58.25 kg Volume: 0.025 m <sup>3</sup> Density: 2330 kg/m <sup>3</sup> Weight: 570.85 N	F:\Документы\SolidWorks \касяяненко\0,1B.SLDPR T Jun 23 22:19:49 2013
 Вытянуть1	Solid Body	Mass: 58.25 kg Volume: 0.025 m <sup>3</sup> Density: 2330 kg/m <sup>3</sup> Weight: 570.85 N	F:\Документы\SolidWorks \касяяненко\0,1B\2.SLD PRT Jun 23 22:19:48 2013

Рис. Г.2. Общий вид отчета в программном пакете SolidWorks Simulation

Таблица Г.1.

Значения коэффициента влияния прочного слоя  $k_{U_n}^I = f^I(h_{пр}, m_{пр})$  от толщины  $m_{пр}$  и глубины его залегания  $h_{пр}$  для I типа текстур почвы

Функции для каждой глубины $k_U = f(h_{пр}, m_{пр})$										
$k_R^I$	$m_{пр}/B$	$f_1^I(0,1B)$	$f_2^I(0,2B)$	$f_3^I(0,3B)$	$f_4^I(0,4B)$	$f_5^I(0,5B)$	$f_6^I(0,6B)$	$f_7^I(0,7B)$	$f_8^I(0,8B)$	$f_9^I(0,9B)$
0,17	0,1	0,0956	0,1622	0,1667	0,1978	0,1756	0,1489	0,1222	0,0689	0,0022
0,38	0,2	0,1622	0,2067	0,2289	0,2378	0,2333	0,2067	0,1667	0,1044	0,0556
0,64	0,3	0,2244	0,2733	0,2644	0,2644	0,2644	0,2467	0,1933	0,1489	0,0867
1,00	0,4	0,2644	0,3000	0,3267	0,3089	0,2956	0,2911	0,2200	0,1756	0,1000
1,50	0,5	0,3178	0,3578	0,3489	0,3400	0,3222	0,3000	0,2467	0,1844	0,1178
2,25	0,6	0,3667	0,3667	0,3622	0,3667	0,3711	0,3133	0,2867	0,2156	0,1533
3,50	0,7	0,4156	0,4022	0,4022	0,4022	0,3756	0,3444	0,2778	0,2244	0,1489
6,00	0,8	0,4022	0,4022	0,4200	0,4022	0,3578	0,3311	0,2867	0,2156	0,1489
13,50	0,9	0,4511	0,4556	0,4511	0,4289	0,3844	0,3400	0,3044	0,2111	0,1756

Таблица Г.2.

Значения коэффициента влияния прочного слоя  $k_{U_n}^{II} = f^{II}(h_{пр}, m_{пр})$  от толщины  $m_{пр}$  и глубины его залегания  $h_{пр}$  для II типа текстур почвы

Функции для каждой глубины $k_U = f(h_{пр}, m_{пр})$										
$k_R^{II}$	$m_{пр}/B$	$f_1^{II}(0,1B)$	$f_2^{II}(0,2B)$	$f_3^{II}(0,3B)$	$f_4^{II}(0,4B)$	$f_5^{II}(0,5B)$	$f_6^{II}(0,6B)$	$f_7^{II}(0,7B)$	$f_8^{II}(0,8B)$	$f_9^{II}(0,9B)$
0,22	0,1	0,1578	0,2067	0,2778	0,2822	0,2689	0,2733	0,2111	0,1711	0,0556
0,50	0,2	0,2378	0,2911	0,3000	0,3444	0,3178	0,2867	0,2600	0,1933	0,0778
0,86	0,3	0,2911	0,3400	0,3667	0,3978	0,3844	0,3489	0,3089	0,2156	0,1267
1,33	0,4	0,3667	0,3889	0,4022	0,4244	0,4200	0,3622	0,3356	0,2644	0,1444
2,00	0,5	0,4156	0,4289	0,4600	0,4467	0,4467	0,4022	0,3578	0,2600	0,1489
3,00	0,6	0,4511	0,4644	0,4956	0,4689	0,4644	0,4067	0,3622	0,2600	0,1978
4,67	0,7	0,4778	0,4956	0,5089	0,5089	0,4911	0,4289	0,3800	0,2956	0,1756
8,00	0,8	0,4867	0,5133	0,5311	0,5133	0,4956	0,4333	0,4067	0,3133	0,2244
18,00	0,9	0,5044	0,5267	0,5622	0,5267	0,5000	0,4689	0,3889	0,3178	0,1933

Таблица Г.3.

Значения коэффициента влияния прочного слоя  $k_{U_n}^{III} = f^{III}(h_{пр}, m_{пр})$  от толщины  $m_{пр}$  и глубины его залегания  $h_{пр}$  для III типа текстур почвы

Функции для каждой глубины $k_U = f(h_{пр}, m_{пр})$										
$k_R^{III}$	$m_{пр}/B$	$f_1^{III}(0,1B)$	$f_2^{III}(0,2B)$	$f_3^{III}(0,3B)$	$f_4^{III}(0,4B)$	$f_5^{III}(0,5B)$	$f_6^{III}(0,6B)$	$f_7^{III}(0,7B)$	$f_8^{III}(0,8B)$	$f_9^{III}(0,9B)$
0,33	0,1	0,1889	0,2956	0,3356	0,3533	0,3533	0,3267	0,2644	0,1978	0,1089
0,75	0,2	0,2867	0,3622	0,3800	0,3978	0,3889	0,3489	0,3133	0,2111	0,1178
1,29	0,3	0,3622	0,4156	0,4556	0,4911	0,4600	0,4156	0,3756	0,2911	0,1578
2,00	0,4	0,4200	0,4867	0,5089	0,5222	0,5133	0,4511	0,3844	0,3178	0,1933
3,00	0,5	0,5178	0,5622	0,5400	0,5489	0,5400	0,4822	0,3889	0,3133	0,2022
4,50	0,6	0,5756	0,5933	0,5933	0,5889	0,5533	0,4867	0,4289	0,3222	0,2200
7,00	0,7	0,5978	0,6156	0,6378	0,6333	0,6022	0,5444	0,4511	0,3267	0,2156
12,00	0,8	0,6244	0,6422	0,6689	0,6289	0,5978	0,5756	0,4689	0,3711	0,2467
27,00	0,9	0,6200	0,6733	0,6511	0,6778	0,6244	0,5578	0,4956	0,3711	0,2600

Таблица Г.4.

Уравнения регрессии коэффициента влияния прочного слоя  $k_{U_n}^I$   
I типа текстур почвы для каждой глубины залегания  $h_{пр}$

<b>y</b>	<b><math>h_{пр}/B</math></b>	<b>Уравнения регрессии <math>k_{U_n}^I=f^I(x)</math></b>	<b>-a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
$f_1^I(x)$	0,1	$y = -0,4063x^2 + 0,7513x + 0,0901$	0,4063	0,7513	0,0901	0,99
$f_2^I(x)$	0,2	$y = -0,2946x^2 + 0,5777x + 0,1602$	0,2946	0,5777	0,1602	0,99
$f_3^I(x)$	0,3	$y = -0,317x^2 + 0,5805x + 0,1685$	0,3170	0,5805	0,1685	0,98
$f_4^I(x)$	0,4	$y = -0,2563x^2 + 0,4868x + 0,1898$	0,2563	0,4868	0,1898	0,98
$f_5^I(x)$	0,5	$y = -0,2864x^2 + 0,4851x + 0,1803$	0,2864	0,4851	0,1803	0,98
$f_6^I(x)$	0,6	$y = -0,2961x^2 + 0,4723x + 0,1595$	0,2961	0,4723	0,1595	0,98
$f_7^I(x)$	0,7	$y = -0,2629x^2 + 0,4277x + 0,1219$	0,2629	0,4277	0,1219	0,98
$f_8^I(x)$	0,8	$y = -0,2396x^2 + 0,3868x + 0,0732$	0,2396	0,3868	0,0732	0,97
$f_9^I(x)$	0,9	$y = -0,2527x^2 + 0,391x + 0,0104$	0,2527	0,3910	0,0104	0,97

Таблица Г.5.

Уравнения регрессии коэффициента влияния прочного слоя  $k_{U_n}^{II}$   
II типа текстур почвы для каждой глубины залегания  $h_{пр}$

<b>y</b>	<b><math>h_{пр}/B</math></b>	<b>Уравнения регрессии <math>k_{U_n}^{II}=f^{II}(x)</math></b>	<b>-a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
$f_1^{II}(x)$	0,1	$y = -0,4452x^2 + 0,7952x + 0,1602$	0,4452	0,7952	0,0901	0,99
$f_2^{II}(x)$	0,2	$y = -0,3583x^2 + 0,6789x + 0,2162$	0,3583	0,6789	0,2162	0,99
$f_3^{II}(x)$	0,3	$y = -0,3283x^2 + 0,6189x + 0,2592$	0,3283	0,6189	0,2592	0,98
$f_4^{II}(x)$	0,4	$y = -0,279x^2 + 0,5167x + 0,2916$	0,2790	0,5167	0,2916	0,99
$f_5^{II}(x)$	0,5	$y = -0,3521x^2 + 0,5728x + 0,2722$	0,3521	0,5728	0,2722	0,99
$f_6^{II}(x)$	0,6	$y = -0,2147x^2 + 0,4036x + 0,2655$	0,2147	0,4036	0,2655	0,98
$f_7^{II}(x)$	0,7	$y = -0,3036x^2 + 0,465x + 0,2176$	0,3036	0,4650	0,2176	0,98
$f_8^{II}(x)$	0,8	$y = -0,192x^2 + 0,327x + 0,166$	0,1920	0,3270	0,1660	0,95
$f_9^{II}(x)$	0,9	$y = -0,2278x^2 + 0,3725x + 0,052$	0,2278	0,3725	0,0520	0,94

Таблица Г.6.

Уравнения регрессии коэффициента влияния прочного слоя  $k_{U_n}^{III}$   
III типа текстур почвы для каждой глубины залегания  $h_{пр}$

<b>y</b>	<b><math>h_{пр}/B</math></b>	<b>Уравнения регрессии <math>k_{U_n}^{III}=f^{III}(x)</math></b>	<b>-a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
$f_1^{III}(x)$	0,1	$y = -0,581x^2 + 1,0308x + 0,1858$	0,5810	1,0308	0,1858	0,99
$f_2^{III}(x)$	0,2	$y = -0,4233x^2 + 0,8111x + 0,2873$	0,4233	0,8111	0,2873	0,99
$f_3^{III}(x)$	0,3	$y = -0,3762x^2 + 0,7278x + 0,3239$	0,3762	0,7278	0,3239	0,98
$f_4^{III}(x)$	0,4	$y = -0,3533x^2 + 0,6663x + 0,3507$	0,3533	0,6663	0,3507	0,98
$f_5^{III}(x)$	0,5	$y = -0,335x^2 + 0,6069x + 0,3478$	0,3350	0,6069	0,3478	0,98
$f_6^{III}(x)$	0,6	$y = -0,3x^2 + 0,546x + 0,3137$	0,3000	0,5460	0,3137	0,97
$f_7^{III}(x)$	0,7	$y = -0,2424x^2 + 0,4482x + 0,2712$	0,2424	0,4482	0,2712	0,97
$f_8^{III}(x)$	0,8	$y = -0,2054x^2 + 0,3747x + 0,1994$	0,2054	0,3747	0,1994	0,93
$f_9^{III}(x)$	0,9	$y = -0,195x^2 + 0,3369x + 0,0998$	0,1950	0,3369	0,0998	0,96

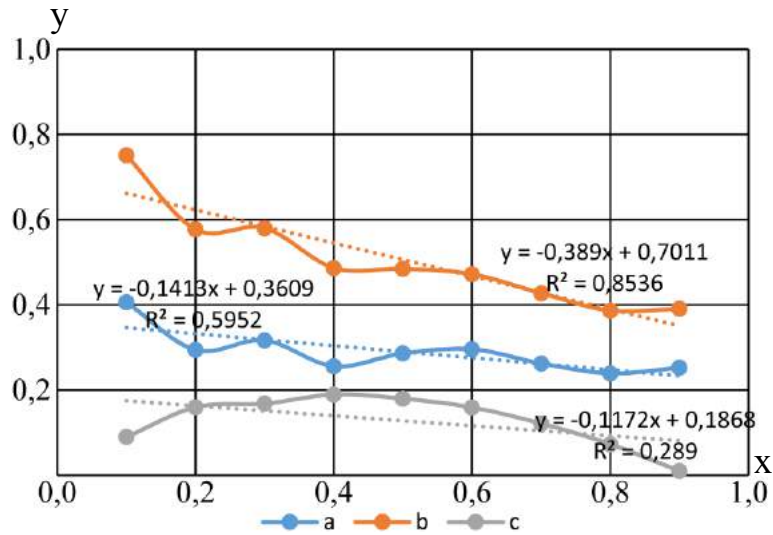


Рис. Г.3. Зависимости переменных уравнения регрессии  $y=f^I(x)$  – а, b и c для I типа текстур почвы от значения  $x=h_{pp}/B$

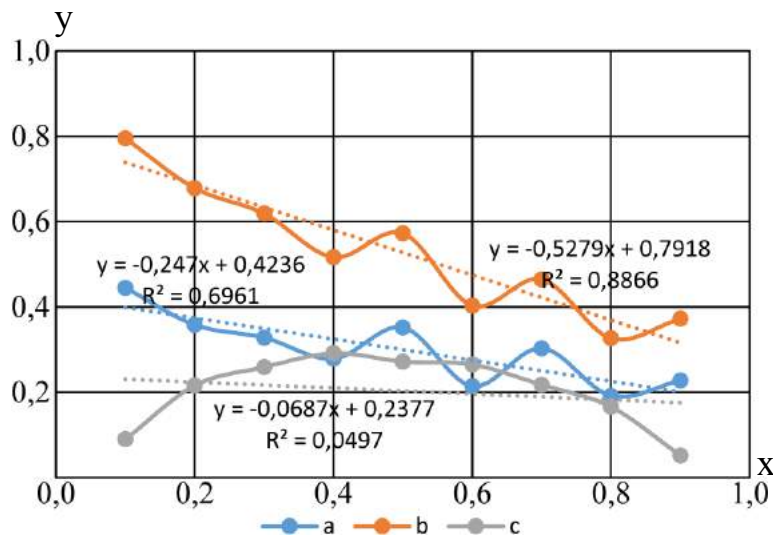


Рис. Г.4. Зависимости переменных уравнения регрессии  $y=f^{II}(x)$  – а, b и c для II типа текстур почвы от значения  $x=h_{pp}/B$

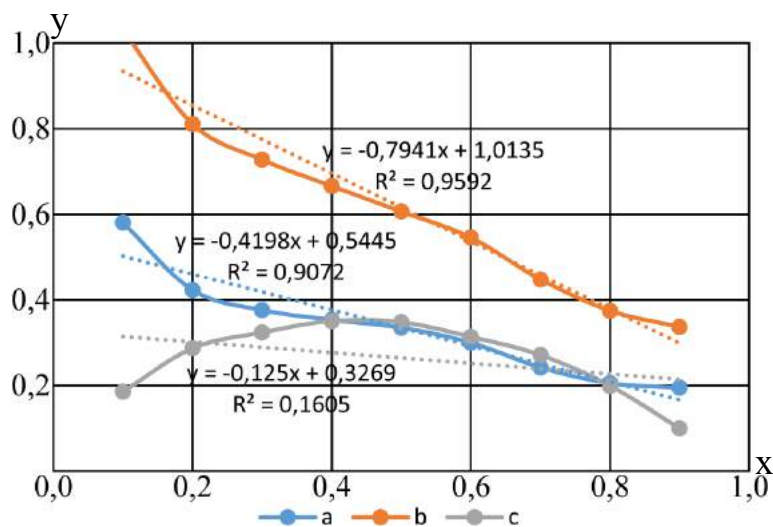


Рис. Г.5. Зависимости переменных уравнения регрессии  $y=f^{III}(x)$  – а, b и c для III типа текстур почвы от значения  $x=h_{pp}/B$

Приложение Д  
Результаты лабораторных исследований

Таблица Д.1.

Результаты подбора материала (размеры слоев в модели и рецептура эквивалентных материалов) для моделирования

№ п/п	Вместающие породы и прочность на сжатие в натуре	№ элементов материала в модели	Размеры слоя в модели, см			Объем слоя, см <sup>3</sup>	Объемный вес эквивив. материала, г/см <sup>3</sup>	Масса слоя в модели, г	Содержание компонентов в слое						Бсж, кг/см <sup>2</sup>	
			Высота	Длина	Ширина				Песок	Общее содержание вяжущих в слое, %	Парафин	Канифоль	Масса, г	%		Масса, г
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>Кровля</b>																
1	Аргиллит	1	1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
2	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
3	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
4	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
5	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
6	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
7	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
8	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
9	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
10	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
11	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
12	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
13	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
14	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
15	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
16	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
17	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
18	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
19	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
20	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5
21	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5



Продолжение Таблицы Д.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
22	Аргиллит	1	1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
23	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
24	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
25	Уголь	2	0,56	76	16	672	1,5	1008	99	998	1	100	10	0	0	1,7	
26	Уголь		0,56	76	16	672	1,5	1008	99	998	1	100	10	0	0	1,7	
27	Уголь		0,56	76	16	672	1,5	1008	99	998	1	100	10	0	0	1,7	
28	Уголь		0,56	76	16	672	1,5	1008	99	998	1	100	10	0	0	1,7	
29	Уголь		0,56	76	16	672	1,5	1008	99	998	1	100	10	0	0	1,7	
30	Уголь		0,56	76	16	672	1,5	1008	99	998	1	100	10	0	0	1,7	
<b>Слабый слой почвы (толщина слоя варьировалась 0,27В и 0,35В)</b>																	
31	Аргиллит	3	1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
32	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
33	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
34	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
35	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
<b>Прочный слой почвы (толщина слоя варьировалась 0,1В и 0,3В)</b>																	
36	Алеврит	4	0,5	76	16	600	1,5	900	97,0	873	3	70	19	30	8	4,1	
–	Песчаник		0,5	76	16	600	1,5	900	95,0	855	5	50	22	50	23	5,4	
37	Известняк		0,5	76	16	600	1,5	900	93,0	837	7	20	13	80	50	8,1	
<b>Слабый слой почвы (толщина слоя варьировалась до глубины В)</b>																	
38	Аргиллит	3	1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
39	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
40	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
41	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
42	Аргиллит	1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5		
<b>Основная почва (начиная с глубины В)</b>																	
43	Аргиллит	5	1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
44	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
45	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
46	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
47	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
48	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
49	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	
–	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
58	Аргиллит		1,0	76	16	1200	1,5	1800	98	1764	2	70	25	30	11	2,5	

Таблица Д.2.

Смещения почвы в модели для I типа текстур –  $k_R^I=0,14 \div 0,86$ 

Нагрузка в модели		$\frac{m_{np}}{B} = 0,1 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,1$		$\frac{m_{np}}{B} = 0,1 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,3$		$\frac{m_{np}}{B} = 0,3 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,1$		$\frac{m_{np}}{B} = 0,3 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,3$	
кгс/см <sup>2</sup>	МПа	U, мм	U/B	U, мм	U/B	U, мм	U/B	U, мм	U/B
0,4	0,0413	4	0,04	2	0,02	2	0,02	2	0,02
0,8	0,0826	8	0,08	4	0,04	6	0,06	2	0,02
1,2	0,1240	14	0,14	10	0,10	8	0,08	8	0,08
1,6	0,1653	20	0,20	14	0,14	12	0,12	12	0,12
2,0	0,2066	28	0,28	20	0,20	16	0,16	14	0,14
2,4	0,2479	34	0,34	30	0,30	22	0,22	16	0,16
2,8	0,2892	42	0,42	36	0,36	30	0,30	28	0,28
3,2	0,3305	46	0,46	42	0,42	34	0,34	32	0,32
3,6	0,3719	54	0,54	50	0,50	40	0,40	36	0,36
4,1	0,4132	56	0,56	52	0,52	42	0,42	40	0,40
4,5	0,4545	60	0,60	56	0,56	46	0,46	42	0,42

Таблица Д.3.

Смещения почвы в модели для II типа текстур –  $k_R^{II}=0,22 \div 1,29$ 

Нагрузка в модели		$\frac{m_{np}}{B} = 0,1 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,1$		$\frac{m_{np}}{B} = 0,1 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,3$		$\frac{m_{np}}{B} = 0,3 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,1$		$\frac{m_{np}}{B} = 0,3 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,3$	
кгс/см <sup>2</sup>	МПа	U, мм	U/B	U, мм	U/B	U, мм	U/B	U, мм	U/B
0,4	0,0413	4	0,04	2	0,02	2	0,02	2	0,02
0,8	0,0826	8	0,08	4	0,04	6	0,06	2	0,02
1,2	0,1240	14	0,14	6	0,06	10	0,10	4	0,04
1,6	0,1653	20	0,20	12	0,12	14	0,14	8	0,08
2,0	0,2066	28	0,28	20	0,20	18	0,18	12	0,12
2,4	0,2479	32	0,32	26	0,26	20	0,20	16	0,16
2,8	0,2892	40	0,40	34	0,34	28	0,28	24	0,24
3,2	0,3305	44	0,44	38	0,38	30	0,30	26	0,26
3,6	0,3719	48	0,48	42	0,42	32	0,32	28	0,28
4,1	0,4132	52	0,52	44	0,44	32	0,32	30	0,30
4,5	0,4545	54	0,54	48	0,48	36	0,36	32	0,32

Таблица Д.4.

Смещения почвы в модели для III типа текстур –  $k_R^{III}=0,33 \div 1,70$ 

Нагрузка в модели		$\frac{m_{np}}{B} = 0,1 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,1$		$\frac{m_{np}}{B} = 0,1 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,3$		$\frac{m_{np}}{B} = 0,3 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,1$		$\frac{m_{np}}{B} = 0,3 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,3$	
кгс/см <sup>2</sup>	МПа	U, мм	U/B	U, мм	U/B	U, мм	U/B	U, мм	U/B
0,4	0,0413	4	0,04	2	0,02	2	0,02	0	0,00
0,8	0,0826	6	0,06	4	0,04	4	0,04	2	0,02
1,2	0,1240	10	0,10	6	0,06	8	0,08	2	0,02
1,6	0,1653	14	0,14	8	0,08	10	0,10	4	0,04
2,0	0,2066	20	0,20	12	0,12	12	0,12	6	0,06
2,4	0,2479	26	0,26	18	0,18	14	0,14	8	0,08
2,8	0,2892	30	0,30	26	0,26	20	0,20	12	0,12
3,2	0,3305	34	0,34	30	0,30	22	0,22	18	0,18
3,6	0,3719	40	0,40	36	0,36	26	0,26	22	0,22
4,1	0,4132	44	0,44	42	0,42	28	0,28	24	0,24
4,5	0,4545	46	0,46	46	0,46	28	0,28	28	0,28

Результаты расчета коэффициента влияния прочного слоя  $k_U$  от давления в модели для трех типов текстур пород почвы  $k_R^I$ ,  $k_R^{II}$ ,  $k_R^{III}$  при соответствующих сочетаниях толщины  $m_{np}$  и глубины залегания  $h_{np}$  прочного слоя от подошвы выработки

Нагрузка в модели		$\frac{m_{np}}{B} = 0,1 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,1$	$\frac{m_{np}}{B} = 0,1 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,3$	$\frac{m_{np}}{B} = 0,3 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,1$	$\frac{m_{np}}{B} = 0,3 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,3$
кгс/см <sup>2</sup>	МПа				
<b>I тип текстур пород почвы – <math>k_R^I=0,14 \div 0,86</math></b>					
0,4	0,0413	0,333	0,667	0,667	0,667
0,8	0,0826	0,200	0,600	0,800	0,400
1,2	0,1240	0,125	0,375	0,500	0,500
1,6	0,1653	0,091	0,364	0,455	0,455
2,0	0,2066	0,176	0,412	0,588	0,529
2,4	0,2479	0,190	0,286	0,619	0,476
2,8	0,2892	0,192	0,308	0,462	0,423
3,2	0,3305	0,207	0,276	0,448	0,414
3,6	0,3719	0,156	0,219	0,438	0,375
4,1	0,4132	0,176	0,235	0,412	0,382
4,5	0,4545	0,167	0,222	0,417	0,361
<b>II тип текстур пород почвы – <math>k_R^{II}=0,22 \div 1,29</math></b>					
0,4	0,0413	0,333	0,667	0,667	0,667
0,8	0,0826	0,240	0,600	0,800	0,400
1,2	0,1240	0,163	0,625	0,750	0,375
1,6	0,1653	0,137	0,455	0,636	0,364
2,0	0,2066	0,176	0,412	0,647	0,471
2,4	0,2479	0,238	0,381	0,619	0,524
2,8	0,2892	0,231	0,346	0,538	0,462
3,2	0,3305	0,241	0,345	0,552	0,483
3,6	0,3719	0,250	0,344	0,563	0,500
4,1	0,4132	0,235	0,353	0,559	0,529
4,5	0,4545	0,250	0,333	0,556	0,500
<b>III тип текстур пород почвы – <math>k_R^{III}=0,33 \div 1,70</math></b>					
0,4	0,0413	0,333	0,667	0,000	0,667
0,8	0,0826	0,400	0,600	0,800	0,600
1,2	0,1240	0,375	0,625	0,875	0,500
1,6	0,1653	0,364	0,636	0,818	0,545
2,0	0,2066	0,412	0,647	0,824	0,647
2,4	0,2479	0,381	0,571	0,810	0,667
2,8	0,2892	0,423	0,500	0,769	0,615
3,2	0,3305	0,414	0,483	0,690	0,621
3,6	0,3719	0,375	0,438	0,656	0,594
4,1	0,4132	0,353	0,382	0,647	0,588
4,5	0,4545	0,359	0,362	0,615	0,608

## Приложение Е

## Разрешение МакНИИ на применение лазерного дальномера и цифрового фотоаппарата

Копия

МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА  
ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ  
МАКІВСЬКИЙ НАУКОВО-  
ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ  
з безпеки робіт у гірничій  
промисловості  
МакНДІ

86108, Україна, Макіївка Донецької обл.  
вул.Лихачова, 60.  
Телефони: (062) 300-11-32;  
(06232) 96-1-07.  
Факс: (0623) 22-19-00  
e-mail: [maknii@tr.dn.ua](mailto:maknii@tr.dn.ua)  
<http://mupmaknii.se-ua.net>



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И  
УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
по безопасности работ в горной  
промышленности  
МакНИИ

86108, Украина, Макеевка Донецкой обл.  
ул.Лихачева, 60.  
Телефоны: (062) 300-11-32;  
(06232) 96-1-07.  
Факс: (0623) 22-19-00  
e-mail: [maknii@tr.dn.ua](mailto:maknii@tr.dn.ua)  
<http://mupmaknii.se-ua.net>

*ЗД. Н. 11* № 14/ *10194*

На № 75 від 08.11.2011

Про використання  
лазерного далекоміра

Директору  
інституту гірничої справи та геології  
ДВНЗ «Донецький національний  
технічний університет»

*Булгакову Ю. Ф.*

*вул. Артема, буд. 58, корп. 9,  
м. Донецьк, 83001, Україна*

В результаті вивчення матеріалів по г/л № 75/1711140076 від 08.11.2011 встановлено наступне:

- цифровий лазерний далекомір BOSCH DLE 70 Professional призначений для вимірювання відстані, довжини і висоти, а також для розрахування площі і об'єму. Прилад придатний для робіт всередині приміщень та надворі;
- цифровий лазерний далекомір BOSCH DLE 70 Professional відноситься до переносних приладів загального призначення і не має рудникового виконання. Прилад має ступінь захисту від пилу та бризок води – IP 54 (крім секції для батарейок);
- цифровий лазерний далекомір BOSCH DLE 70 Professional створює лазерне випромінювання класу 2 відповідно до норми IEC 60825-1 з вихідними параметрами лазера: довжина хвилі 635 нм, випромінювана потужність не більше 1 мВт, які відповідають вимогам ДСТУ 7113:2009.

МакНДІ вважає за можливе тимчасове до 28.11.2012 періодичне використання цифрового лазерного далекоміру BOSCH DLE 70 Professional (серійний № 009745257) співробітниками інституту гірництва та геології в підземних виробках вугільних шахт України, у тому числі небезпечних по газу (метану) та/або пилу, за умови дотримання вимог пункту 6 розділу 2 глави VIII НПАОП 10.0-1.01-10 «Правила безпеки у вугільних шахтах» та керівництва з експлуатації далекоміром.

При проведенні вимірювання в підземних виробках вугільних шахт необхідно дотримуватись наступних рекомендацій:

- не користуватися далекоміром, при виявленні пошкоджень корпусу, кришок, кріпильних гвинтів і захисних стекол;
- у підземних виробках шахти не проводити заряд або заміну акумуляторів або батарейок у далекомірі;
- виконання заходів безпеки при використанні цифрового лазерного далекоміру BOSCH DLE 70 Professional (серійний № 009745257) в підземних виробках вугільних шахт повинне здійснюватися спільно з особами нагляду.

Заст. директора з наукової роботи

А. Г. Мнухін

Відділ електроустановлення  
Демченко О. О. (06232) 96-2-73  
Гречка А.В. (06232) 96-2-68

Продолжение Приложения Е  
Разрешение МакНИИ на применение лазерного дальномера и цифрового фотоаппарата

Копия

МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА  
ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ  
МАКІЇВСЬКИЙ НАУКОВО-  
ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ  
з безпеки робіт у гірничій  
промисловості  
МакНДІ

86108, Україна, Макіївка Донецької обл.  
вул.Лихачова, 60.  
Телефони: (062) 300-11-32;  
(06232) 96-1-07.  
Факс: (0623) 22-19-00  
e-mail: [maknii@tr.dn.ua](mailto:maknii@tr.dn.ua)  
<http://mupmaknii.se-ua.net>



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И  
УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
по безопасности работ в горной  
промышленности  
МакНИИ

86108, Украина, Макеевка Донецкой обл.  
ул.Лихачева, 60.  
Телефоны: (062) 300-11-32;  
(06232) 96-1-07.  
Факс: (0623) 22-19-00  
e-mail: [maknii@tr.dn.ua](mailto:maknii@tr.dn.ua)  
<http://mupmaknii.se-ua.net>

*16.11.11* № 14/ *9756*

На № б/н від 31.10.2011

Директору  
інституту гірничої справи та геології  
ДВНЗ «Донецький національний  
технічний університет»

Булгакову Ю. Ф.

Про використання  
фотокамери Canon

вул. Артема, буд. 58, корп. 9,  
м. Донецьк, 83001, Україна

В результаті вивчення матеріалів по г/л № 1711140069 від 31.10.2011 встановлене наступне:

- фотокамера Canon PowerShot A2000 призначена для фото-відео зйомки в звичайних умовах;
- фотокамера Canon PowerShot A2000 відноситься до переносних приладів загального призначення і не має рудникового виконання.

МакНДІ вважає за можливе тимчасове до 08.11.2012 періодичне використання фотокамери Canon PowerShot A2000 (инв. № 123) співробітниками інституту гірництва та геології в підземних виробках вугільних шахт України, у тому числі небезпечних по газу (метану) та/або пилу, за умови дотримання вимог пункту 6 розділу 2 глави VIII НПАОП 10.0-1.01-10 «Правила безпеки у вугільних шахтах».

При проведенні фотографувань в підземних виробках вугільних шахт необхідно дотримуватись наступних рекомендацій:

- не користуватися фотокамерою, при виявленні пошкоджень корпусу, кришок, кріпильних гвинтів і захисних стекол;
- у підземних виробках шахти не проводити заряд або заміну акумуляторної батареї у фотокамері;
- виконання заходів безпеки при використанні фотокамери Canon PowerShot A2000 (инв. № 123) в підземних виробках вугільних шахт повинне здійснюватися спільно з особами нагляду.

Заст. директора з наукової роботи

А. Г. Мнухін

Приложение Ж  
Геологические данные вмещающих пород пласта  $m_3$   
ОП «Шахты им. Е.Т. Абакумова» ГП «ДУЭК»

Копия

-32-

Главгеологии УССР  
Трест «Артемгеология»  
Щегловская ГРЭ

Щегловская ГРЭ  
Участок **Абакумовский Глубокий**  
Скважина **Щ-71**  
Пласт  **$m_3$**

**А К Т №**

на переburку пласта угля  **$m_3$**

**5 ИЮНЯ** 196 **7** г. комиссии в составе геолога **Лоскот Ю.** ст. бур. мастера **Разживина**

бур. мастера **Полянского** составила настоящий акт в том, **4 ИЮНЯ** 196 **7** г. см. мастером **Масленко** был

встречен на глубине **804.20** м. пласт угля  **$m_3$**  и пройдено без комиссии **0.05**  
при выходе керна **-** м., коммисией пройдено до глубины **805.35** м и установлено следующее  
расстояние пласта **1.00** при угле падения его по керну **3°**

Описание пород и угля	Глубина забоя	Угол, диаметр	Мощн. по оси	Поднято керна	Норм. мощность	№ пробы	Чертеж в м. 1:50
Сланец песчаный			2.10	2.10			$m_3$
Сланец глинистый	800.50	5.60	3.50	3.50			9.20
Сланец глинистый			3.70	3.70			
Уголь /встреча/	804.25	3.75	0.05	-	1.00		7.20
Уголь /тр. Алексеенко/	805.20	0.95	0.95	0.90		2106	
Сланец песчаный "кучер."	805.35	0.15	0.15	0.15			
Сланец песчаный			1.05	1.05			
Известняк			0.20	0.20			805.20
Сланец песчаный			2.30	2.00			
Сланец глинистый	809.95	4.60	1.05	1.05			1.20
Сланец глинистый			0.95	0.95			0.20
Сланец песчаный	815.55	5.60	4.65	4.25			2.30
							2.0
							6.90

угол наклона скважины **90°**  
и условия переburки пласта **переburен спец трубой Алексеенко  $\phi$ -76 мм**

Геолог **Лоскот Ю.** Ст. бур. мастер **Разживина**  
Ст. коллентор **Полянский** См. бур. мастер **Масленко**

Утверждаю:  
Главный инженер **Сев**

Геологические данные вмещающих пород пласта  $m_3$   
8-й западной лавы ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова» ГП «ДУЭК»

Копия

### Описание пород ПК 0 - 35

#### 1. Основная кровля

Алевролит серый, в верхней части переслоен тонкими прослойками серого тонкозернистого песчаника с редкими карбонатными конкрециями и обугленными растительными остатками, массивный. Мощность основной кровли – 5,6 м,  $f = 3-5$ .

#### 2. Непосредственная кровля

Аргиллит темно-серый, горизонтально-слоистый, с включениями сидеритово-глинистых конкреций, с остатками флоры, трещиноватый до 0,8 - 0,9 м, с зеркалами скольжения. Мощность непосредственной кровли – 7,0 м,  $f = 2-4$ .

В нижней части слоя, мощностью 0,06-0,12, перемятый, каолинизированный «серик», интенсивно-трещиноватый.

В конвейерном штреке в зонах повышенной трещиноватости кровли пласта, а также под влиянием посадок основной кровли происходило образование заколов, высыпание аргиллита мелким щебнем на локальных участках, сползание блоков по зеркалам скольжения и обрушения аргиллита на высоту:

ПК 0-ПК 0+7м – 5,0 м; ПК 7-ПК10+6 – 1,6–5,0 м; ПК 12-ПК32 – 0,4–10,0 м; ПК 33+16м-ПК34+7м – 1,0 м.

В результате внезапных обрушений происходили завалы штрека 8-10.09.10г., 17.05.11г., 30.04-6.05.13г..

#### 3. Пласт $m_3$

Угольный пласт  $m_3$  черный, полублестящий, тонкополосчатый, трещиноватый. Мощность – 0,87-0,95 м.

#### 4. Непосредственная почва.

Алевролит темный-серый, неслоистый с обугленными корнями растений, «кучерявчик», интенсивнопучающий (0.8-1.2м/месяц). Мощность слоя - 1,4-1,7 м,  $f = 2-4$ .

#### 5. Известняк $M_3$ .

Известняк буровато-серый, тонкокристаллический,  $m-0.25-0.40$ м,  $f=10-12$ .

#### Гидрогеологические условия.

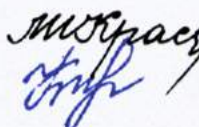
Основными водоносными горизонтами штрека являются песчаники и алевролиты основной кровли и известняк почвы пласта. Капеж и струи из кровли в объеме 1-2 м<sup>3</sup>/час, выделение воды из почвы в объеме 1-2 м<sup>3</sup>/час приводят к снижению устойчивости боковых пород.

При вторичных осадках основной кровли (шаг 18-28 м) нарушается целостность водоносного песчаника, на конвейерном штреке 8-й западной лавы пласта  $m_3$  наблюдаются струи и капеж воды из кровли пласта на интервалах:

- в забое конвейерного штрека 0 – 0,2 м<sup>3</sup>/час;
- в створе лавы наблюдается выделение воды 1 - 3 м<sup>3</sup>/час;
- на участке 2м-80м от груди забоя лавы 2 – 3 м<sup>3</sup>/час;

Суммарный фактический водоприток на действующем участке 8-го западного конвейерного штрека пл. $m_3$  составляет 3-6 м<sup>3</sup>/ч. При осадках основной кровли происходит увеличение водопитока из кровли и почвы до 7 м<sup>3</sup>/ч.

Главный геолог



Краснова Л.И.

Гидрогеолог



Климакина Ю.Ю.

## Приложение И

Результаты шахтных исследований на участке конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта  $m_3$  ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова» ГП «ДУЭК»

Таблица И.1

Конвергенция пород кровли-почвы и величина нахлеста элементов крепи на замерных станциях в выработке, м

$i$	Расстояние до лавы $L$ , м	Время $t$ , сут	З.С. № 1				З.С. № 2				З.С. № 3			
			$h_{1i}$	$h_{2i}$	$a_{1i}$	$a_{2i}$	$h_{1i}$	$h_{2i}$	$a_{1i}$	$a_{2i}$	$h_{1i}$	$h_{2i}$	$a_{1i}$	$a_{2i}$
1	-5,0	0	4,00	4,00	0,00	0,00	4,00	4,00	0,00	0,00	4,00	4,00	0,00	0,00
2	-2,5	2	3,92	3,98	0,19	0,10	3,93	3,99	0,18	0,12	3,92	3,98	0,17	0,14
3	2,0	6	3,72	3,73	0,27	0,19	3,63	3,79	0,27	0,20	3,63	3,76	0,27	0,19
4	7,0	10	3,30	3,33	0,34	0,27	3,23	3,39	0,35	0,28	3,18	3,37	0,34	0,27
5	13,5	15	2,67	2,89	0,41	0,35	2,61	2,99	0,43	0,37	2,58	3,02	0,42	0,36
6	18,5	19	2,38	2,58	0,48	0,43	2,32	2,67	0,50	0,45	2,23	2,71	0,50	0,45
7	22,0	21	2,10	2,31	0,56	0,51	2,29	2,46	0,58	0,53	2,19	2,54	0,59	0,54
8	25,0	24	1,88	2,19	0,64	0,60	1,79	2,26	0,66	0,62	1,71	2,24	0,67	0,63
9	31,5	29	1,69	1,93	0,73	0,69	1,59	2,04	0,76	0,72	1,49	2,03	0,76	0,73
10	35,5	32	1,53	1,80	0,82	0,79	1,47	1,90	0,85	0,82	1,39	1,87	0,86	0,83
11	39,5	35	1,50	1,70	0,92	0,89	1,41	1,79	0,95	0,92	1,33	1,78	0,97	0,94
12	43,5	38	1,45	1,61	1,03	1,00	1,39	1,72	1,06	1,03	1,30	1,71	1,09	1,06
13	49,5	43	1,42	1,55	1,14	1,11	1,36	1,64	1,18	1,15	1,27	1,65	1,21	1,18

Таблица И.2

Смещения пород почвы на замерных станциях по трем реперам в выработке, м

$i$	Расстояние до лавы $L$ , м	Время $t$ , сут	З.С. № 1			З.С. № 2			З.С. № 3		
			$U_{1i}$	$U_{2i}$	$U_{3i}$	$U_{1i}$	$U_{2i}$	$U_{3i}$	$U_{1i}$	$U_{2i}$	$U_{3i}$
1	-5,0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	-2,5	2	0,01	0,02	0,01	0,07	0,05	0,01	0,08	0,05	0,02
3	2,0	6	0,24	0,12	0,08	0,33	0,16	0,02	0,33	0,17	0,05
4	7,0	10	0,63	0,41	0,34	0,71	0,47	0,27	0,76	0,47	0,29
5	13,5	15	1,25	0,77	0,68	1,31	0,84	0,56	1,34	0,79	0,53
6	18,5	19	1,53	1,04	0,91	1,59	1,14	0,80	1,68	1,12	0,75
7	22,0	21	1,80	1,25	1,11	1,60	1,30	0,92	1,70	1,29	0,82
8	25,0	24	2,01	1,46	1,15	2,10	1,53	1,06	2,19	1,51	1,09
9	31,5	29	2,19	1,70	1,40	2,30	1,80	1,24	2,41	1,75	1,26
10	35,5	32	2,35	1,73	1,48	2,41	1,86	1,34	2,50	1,81	1,38
11	39,5	35	2,37	1,83	1,53	2,46	1,89	1,40	2,55	1,83	1,42
12	43,5	38	2,40	1,86	1,58	2,47	1,91	1,42	2,57	1,87	1,44
13	49,5	43	2,42	1,87	1,59	2,49	1,93	1,46	2,59	1,90	1,45



Таблица И.3

Скорости смещения пород почвы на замерных станциях по трем реперам в выработке, м/сут

Пройденное расстояние $\Delta L=L_i-L_{i-1}$ , м	$\Delta t=t_i-t_{i-1}$ сут	З.С. № 1			З.С. № 2			З.С. № 3		
		$V_{1i}$	$V_{2i}$	$V_{3i}$	$V_{1i}$	$V_{2i}$	$V_{3i}$	$V_{1i}$	$V_{2i}$	$V_{3i}$
2,5	2	0,000	0,010	0,000	0,035	0,025	0,005	0,040	0,025	0,010
4,5	4	0,060	0,025	0,020	0,065	0,028	0,003	0,063	0,030	0,008
5,0	4	0,098	0,073	0,065	0,095	0,078	0,063	0,108	0,075	0,060
6,5	5	0,124	0,072	0,068	0,120	0,074	0,058	0,116	0,064	0,048
5,0	4	0,070	0,067	0,058	0,070	0,075	0,060	0,085	0,083	0,055
3,5	2	0,135	0,105	0,100	0,005	0,080	0,060	0,010	0,085	0,035
3,0	3	0,070	0,070	0,013	0,167	0,077	0,047	0,163	0,073	0,090
6,5	5	0,036	0,048	0,050	0,040	0,054	0,036	0,044	0,048	0,034
4,0	3	0,053	0,010	0,027	0,037	0,020	0,033	0,030	0,020	0,040
4,0	3	0,007	0,033	0,017	0,017	0,010	0,020	0,017	0,007	0,013
4,0	3	0,010	0,010	0,017	0,003	0,007	0,007	0,007	0,013	0,007
6,0	5	0,004	0,002	0,002	0,004	0,004	0,008	0,004	0,006	0,002

Таблица И.4

Расчетная итоговая средняя величина смещений и скоростей смещений пород почвы по трем замерным станциям в выработке

$i$	Расстояние до лавы $L$ , м	Время $t$ , сут	Пройденное расстояние $\Delta L=L_i-L_{i-1}$ , м	$\Delta t=t_i-t_{i-1}$ сут	Смещения почвы по трем реперам, м			Скорость смещений почвы по трем реперам, м/сут		
					$U_{1i}$	$U_{2i}$	$U_{3i}$	$V_{1i}$	$V_{2i}$	$V_{3i}$
1	-5,0	0	0	-	0,00	0,00	0,00	0,025	0,02	0,005
2	-2,5	2	2,5	2	0,05	0,04	0,01	0,070	0,031	0,011
3	2,0	6	4,5	4	0,30	0,15	0,05	0,101	0,076	0,063
4	7,0	10	5,0	4	0,70	0,45	0,30	0,116	0,068	0,055
5	13,5	15	6,5	5	1,30	0,80	0,59	0,076	0,076	0,059
6	18,5	19	5,0	4	1,60	1,10	0,82	0,036	0,065	0,047
7	22,0	21	3,5	2	1,70	1,28	0,95	0,168	0,092	0,063
8	25,0	24	3,0	3	2,10	1,50	1,10	0,039	0,048	0,039
9	31,5	29	6,5	5	2,30	1,75	1,30	0,038	0,016	0,031
10	35,5	32	4,0	3	2,42	1,80	1,40	0,013	0,016	0,016
11	39,5	35	4,0	3	2,46	1,85	1,45	0,006	0,009	0,009
12	43,5	38	4,0	3	2,48	1,88	1,48	0,004	0,004	0,004
13	49,5	43	6,0	5	2,50	1,90	1,50	0,025	0,020	0,005

Приложение К  
Результаты аналитических исследований влияния системы  
«прочный слой – крепь усиления» в MathCAD

Mathcad - [Расчет силового воздействия.xmcd]

File Edit View Insert Format Tools Symbolics Window Help

Normal

$$M(R, h) := R \cdot 10^6 \cdot \frac{4 \cdot h^2}{12} \quad M(120, 0.6) = 1.44 \times 10^7$$

$$M0(R, h) := -M(R, h) \quad W0 := 0 \quad M0(120, 0.6) = -1.44 \times 10^7$$

$$\beta(1, h, E) := \frac{4}{\sqrt{4 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)}} \quad a(1) := 0.51$$

$$\beta(4, 0.6, 8.5) = 0.378$$

$$Q0c(1, h, E) := P \cdot \frac{4 \cdot V4(\beta(1, h, E) \cdot l) \cdot V4(\beta(1, h, E) \cdot 0.5l) + V2(\beta(1, h, E) \cdot l) \cdot V2(\beta(1, h, E) \cdot 0.5l)}{4 \cdot V4(\beta(1, h, E) \cdot l)^2 + V2(\beta(1, h, E) \cdot l)^2} \quad W0 = 0$$

$$Q0c(4, 0.4, 8.5) = 3.371 \times 10^5$$

$$y0c(1, h, E) := \frac{P}{\beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot \frac{V2(\beta(1, h, E) \cdot l) \cdot V4(\beta(1, h, E) \cdot 0.5l) - V4(\beta(1, h, E) \cdot l) \cdot V2(\beta(1, h, E) \cdot 0.5l)}{4 \cdot V4(\beta(1, h, E) \cdot l)^2 + V2(\beta(1, h, E) \cdot l)^2}$$

$$Q0(R, h, l, E) := M(R, h) \cdot \beta(1, h, E) \cdot \frac{4 \cdot V4(\beta(1, h, E) \cdot l) \cdot V3(\beta(1, h, E) \cdot l) + V1(\beta(1, h, E) \cdot l) \cdot V2(\beta(1, h, E) \cdot l) - V2(\beta(1, h, E) \cdot l)}{4 \cdot V4(\beta(1, h, E) \cdot l)^2 + V2(\beta(1, h, E) \cdot l)^2} \quad Q0(120, 0.4, 4, 1.5) = 5.516 \times 10^6$$

$$\varphi c(h, l, x, E) := \text{if} \left[ x \leq a(1), -4 \cdot \beta(1, h, E) \cdot V4(x \cdot \beta(1, h, E)) \cdot W0 + y0c(1, h, E) \cdot V1(x \cdot \beta(1, h, E)) + \frac{1}{\beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot \right.$$

$$\left. - Q0c(1, h, E) \cdot V3(x \cdot \beta(1, h, E)), -4 \cdot \beta(1, h, E) \cdot V4(x \cdot \beta(1, h, E)) \cdot W0 + y0c(1, h, E) \cdot V1(x \cdot \beta(1, h, E)) + \frac{1}{\beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot Q0c(1, h, E) \cdot V3(x \cdot \beta(1, h, E)) - \right.$$

$$\left. - \frac{P}{\beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot V3[\beta(1, h, E) \cdot (x - a(1))] \right]$$

$$Wc(h, l, x, E) := \text{if} \left[ x \leq a(1), W0 \cdot V1(x \cdot \beta(1, h, E)) + \frac{y0c(1, h, E)}{\beta(1, h, E)} \cdot V2(x \cdot \beta(1, h, E)) + \frac{Q0c(1, h, E)}{\beta(1, h, E)^3 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot V4(x \cdot \beta(1, h, E)), W0 \cdot V1(x \cdot \beta(1, h, E)) + \right.$$

$$\left. + \frac{y0c(1, h, E)}{\beta(1, h, E)} \cdot V2(x \cdot \beta(1, h, E)) + \frac{Q0c(1, h, E)}{\beta(1, h, E)^3 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot V4(x \cdot \beta(1, h, E)) - \frac{P}{\beta(1, h, E)^3 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot V4[\beta(1, h, E) \cdot (x - a(1))] \right]$$

$$Mc(h, l, x, E) := \text{if} \left[ x \leq a(1), -4 \cdot \beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h) \cdot W0 \cdot V3(x \cdot \beta(1, h, E)) - 4 \cdot \beta(1, h, E) \cdot E \cdot I(1, h) \cdot y0c(1, h, E) \cdot V4(x \cdot \beta(1, h, E)) + \right.$$

$$\left. + \frac{Q0c(1, h, E)}{\beta(1, h, E)} \cdot V2(x \cdot \beta(1, h, E)), -4 \cdot \beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h) \cdot W0 \cdot V3(x \cdot \beta(1, h, E)) - 4 \cdot \beta(1, h, E) \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h) \cdot y0c(1, h, E) \cdot V4(x \cdot \beta(1, h, E)) + \right.$$

$$\left. + \frac{Q0c(1, h, E)}{\beta(1, h, E)} \cdot V2(x \cdot \beta(1, h, E)) - \frac{P}{\beta(1, h, E)} \cdot V2[\beta(1, h, E) \cdot (x - a(1))] \right]$$

$$Qc(h, l, x, E) := \text{if} \left[ x \leq a(1), -4 \cdot \beta(1, h, E)^3 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h) \cdot W0 \cdot V2(x \cdot \beta(1, h, E)) - 4 \cdot \beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h) \cdot y0c(1, h, E) \cdot V3(x \cdot \beta(1, h, E)) + \right.$$

$$\left. + Q0c(1, h, E) \cdot V1(x \cdot \beta(1, h, E)), -4 \cdot \beta(1, h, E)^3 \cdot I(1, h) \cdot W0 \cdot V2(x \cdot \beta(1, h, E)) - 4 \cdot \beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h) \cdot y0c(1, h, E) \cdot V3(x \cdot \beta(1, h, E)) + \right.$$

$$\left. + Q0c(1, h, E) \cdot V1(x \cdot \beta(1, h, E)) - P \cdot V1[\beta(1, h, E) \cdot (x - a(1))] \right]$$

$$y0(R, h, l, E) := \frac{M(R, h)}{\beta(1, h, E) \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot \frac{V3(\beta(1, h, E) \cdot l)}{V2(\beta(1, h, E) \cdot l)} - \frac{Q0(R, h, l, E)}{\beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot \frac{V4(\beta(1, h, E) \cdot l)}{V2(\beta(1, h, E) \cdot l)}$$

$$W(R, h, l, x, E) := W0 \cdot V1(x \cdot \beta(1, h, E)) + \frac{y0(R, h, l, E)}{\beta(1, h, E)} \cdot V2(x \cdot \beta(1, h, E)) + \frac{M0(R, h)}{\beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot V3(x \cdot \beta(1, h, E)) + \frac{Q0(R, h, l, E)}{\beta(1, h, E)^3 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot V4(x \cdot \beta(1, h, E))$$

$$\varphi(R, h, l, x, E) := -4 \cdot \beta(1, h, E) \cdot V4(x \cdot \beta(1, h, E)) \cdot W0 + y0(R, h, l, E) \cdot V1(x \cdot \beta(1, h, E)) + \frac{M0(R, h)}{\beta(1, h, E) \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot V2(x \cdot \beta(1, h, E)) +$$

$$\frac{1}{\beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h)} \cdot Q0(R, h, l, E) \cdot V3(x \cdot \beta(1, h, E))$$

$$M(R, h, l, x, E) := -4 \cdot \beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h) \cdot W0 \cdot V3(x \cdot \beta(1, h, E)) - 4 \cdot \beta(1, h, E) \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h) \cdot y0(R, h, l, E) \cdot V4(x \cdot \beta(1, h, E))$$

$$+ M0(R, h) \cdot V1(x \cdot \beta(1, h, E)) + \frac{Q0(R, h, l, E)}{\beta(1, h, E)} \cdot V2(x \cdot \beta(1, h, E))$$

$$Q(R, h, l, x, E) := -4 \cdot \beta(1, h, E)^3 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h) \cdot W0 \cdot V2(x \cdot \beta(1, h, E)) - 4 \cdot \beta(1, h, E)^2 \cdot (E \cdot 10^{10}) \cdot I(1, h) \cdot y0(R, h, l, E) \cdot V3(x \cdot \beta(1, h, E))$$

$$- 4 \cdot \beta(1, h, E) \cdot M0(R, h) \cdot V4(x \cdot \beta(1, h, E)) + Q0(R, h, l, E) \cdot V1(x \cdot \beta(1, h, E))$$

Рис. К.1. Листинг программы для расчета прогибов от внешнего воздействия системы «прочный слой – крепь усиления» в программном пакете MathCAD

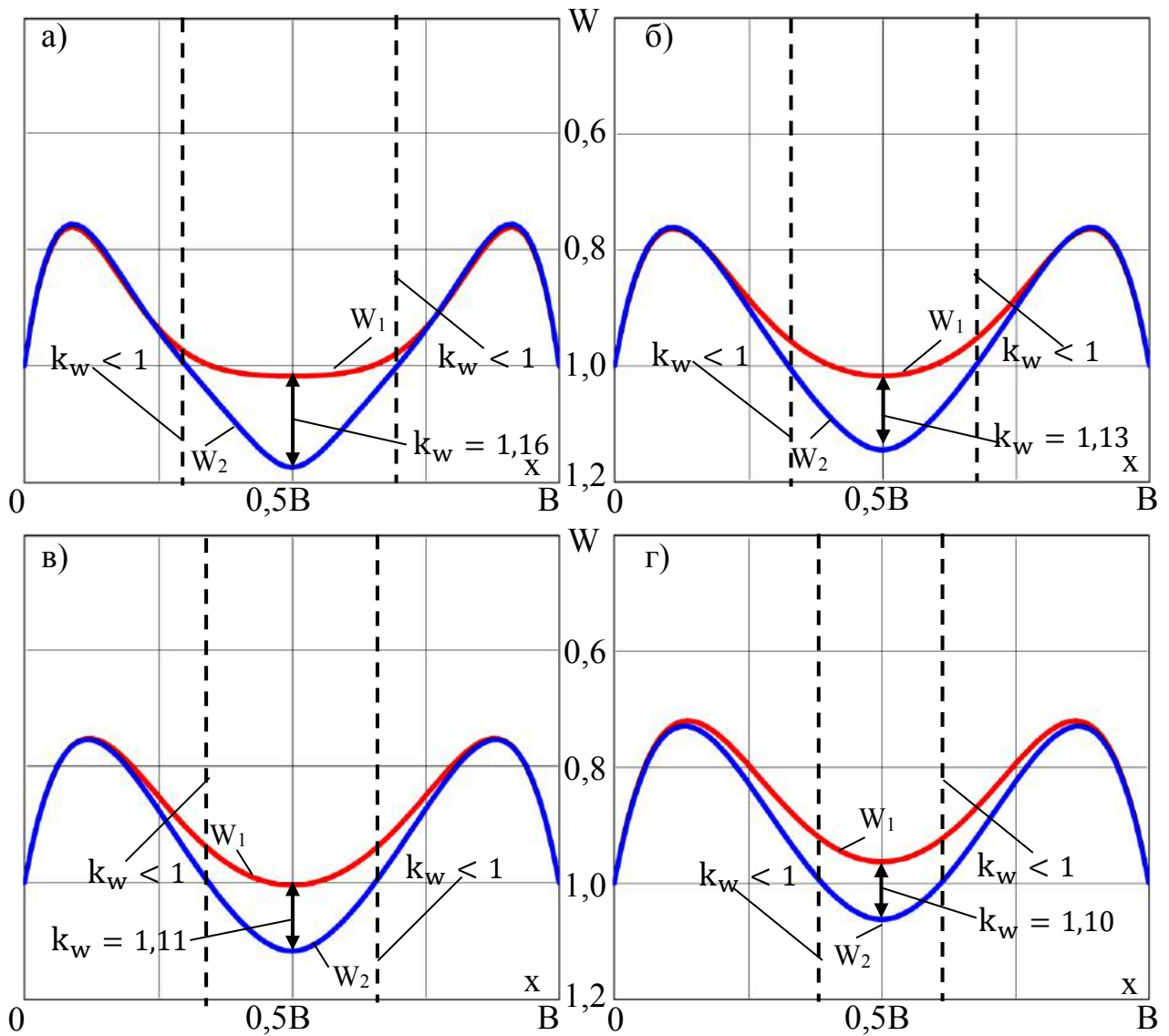


Рис. К.2. Графики зависимости прогибов балки  $W_1$  (—) — без внешнего воздействия,  $W_2$  (—) — с внешним воздействием, на балку длиной  $l=4$  м и толщиной  $m_{пр}=0,1B$ , по длине  $x$  равной ширине выработки  $B=l$ , при следующих типах пород: а) аргиллит; б) алевролит; в) песчаник; г) известняк

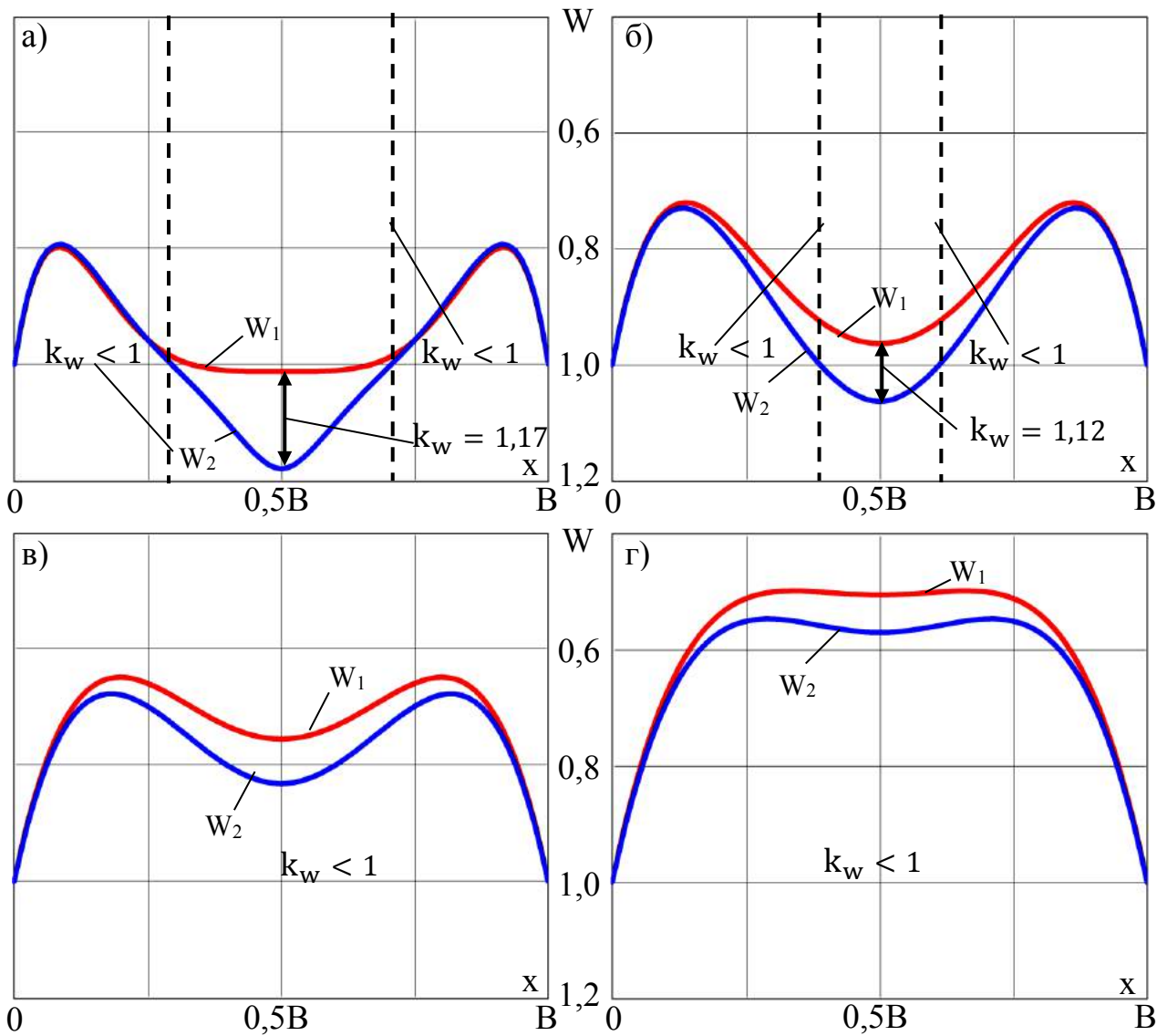


Рис. К.3. Графики зависимости прогибов  $W_1$  ( — ) — без внешнего воздействия,  $W_2$  ( — ) — с внешним воздействием, на балку длиной  $l=4$  м с характеристиками породы известняка, по длине  $x$  равной ширине выработки  $B=l$ , при различной толщине: а)  $m_{пр}=0,05B$ ; б)  $m_{пр}=0,1B$ ; в)  $m_{пр}=0,15B$ ; г)  $m_{пр}=0,2B$

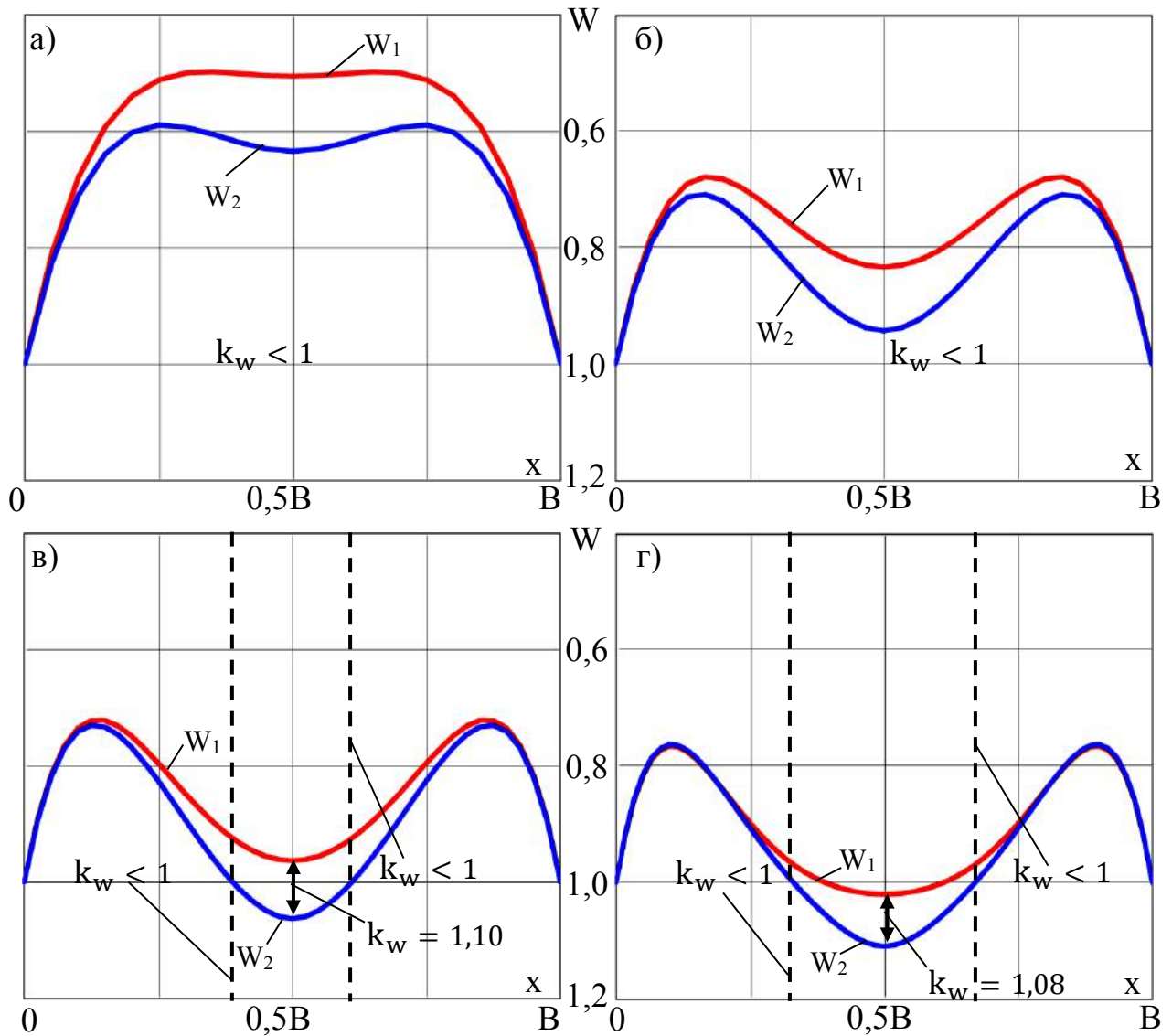


Рис. К.4. Графики зависимости прогибов  $W_1$  ( — ) — без внешнего воздействия,  $W_2$  ( — ) — с внешним воздействием, на балку с характеристиками породы известняка и толщиной  $m_{np}=0,1B$ , по длине  $x$  равной ширине выработки  $B$  равной длине балки: а)  $l=2$  м; б)  $l=3$  м; в)  $l=4$  м; г)  $l=6$  м

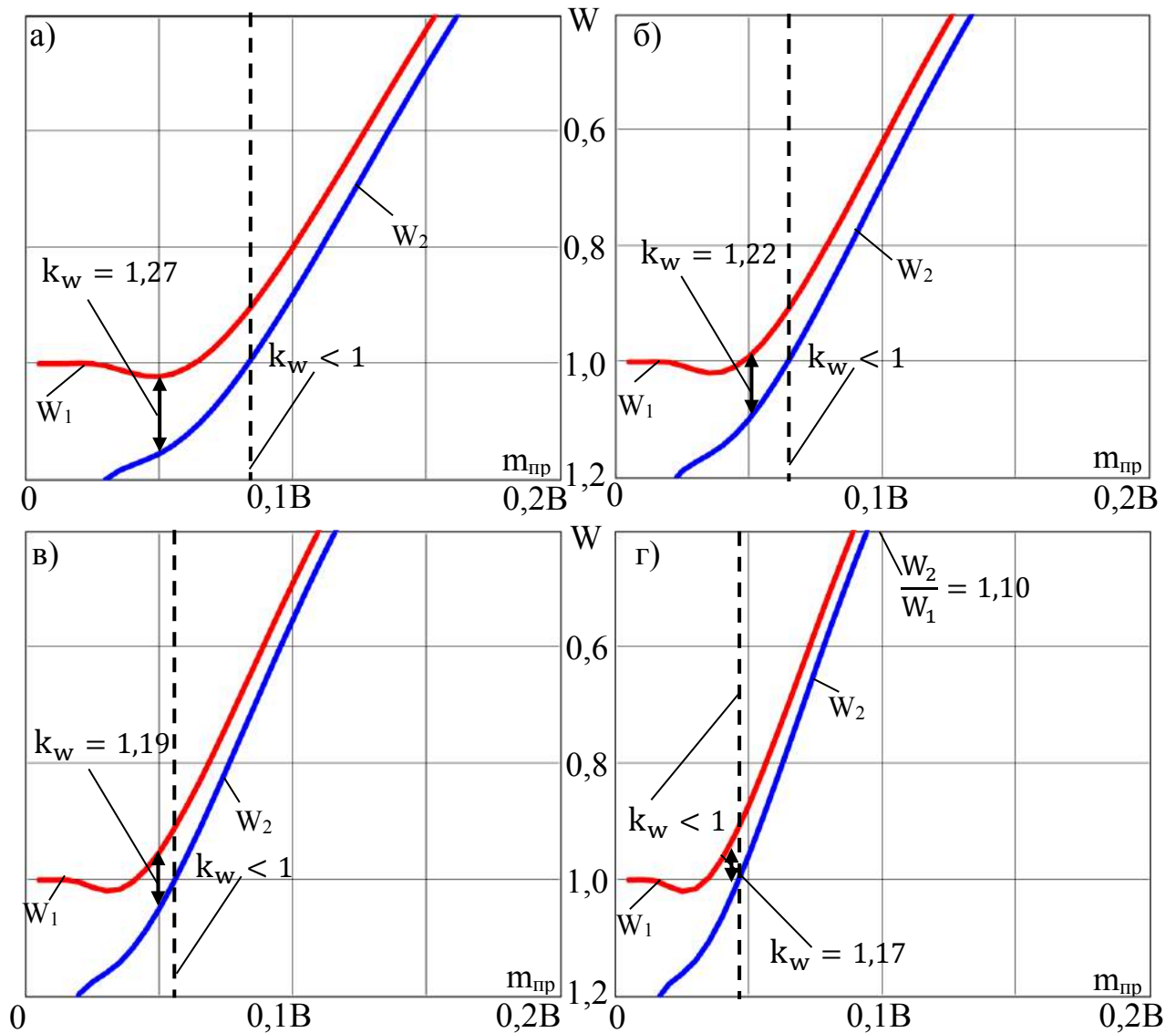


Рис. К.5. Графики зависимости прогибов  $W_1$  ( — ) — без внешнего воздействия,  $W_2$  ( — ) — с внешним воздействием, на балку длиной  $l=4$  м с характеристиками породы известняка по центру выработки  $x=0,5B$  в зависимости от толщины  $m_{пр}$  для различных типов пород: а) аргиллит; б) алевролит; в) песчаник; г) известняк

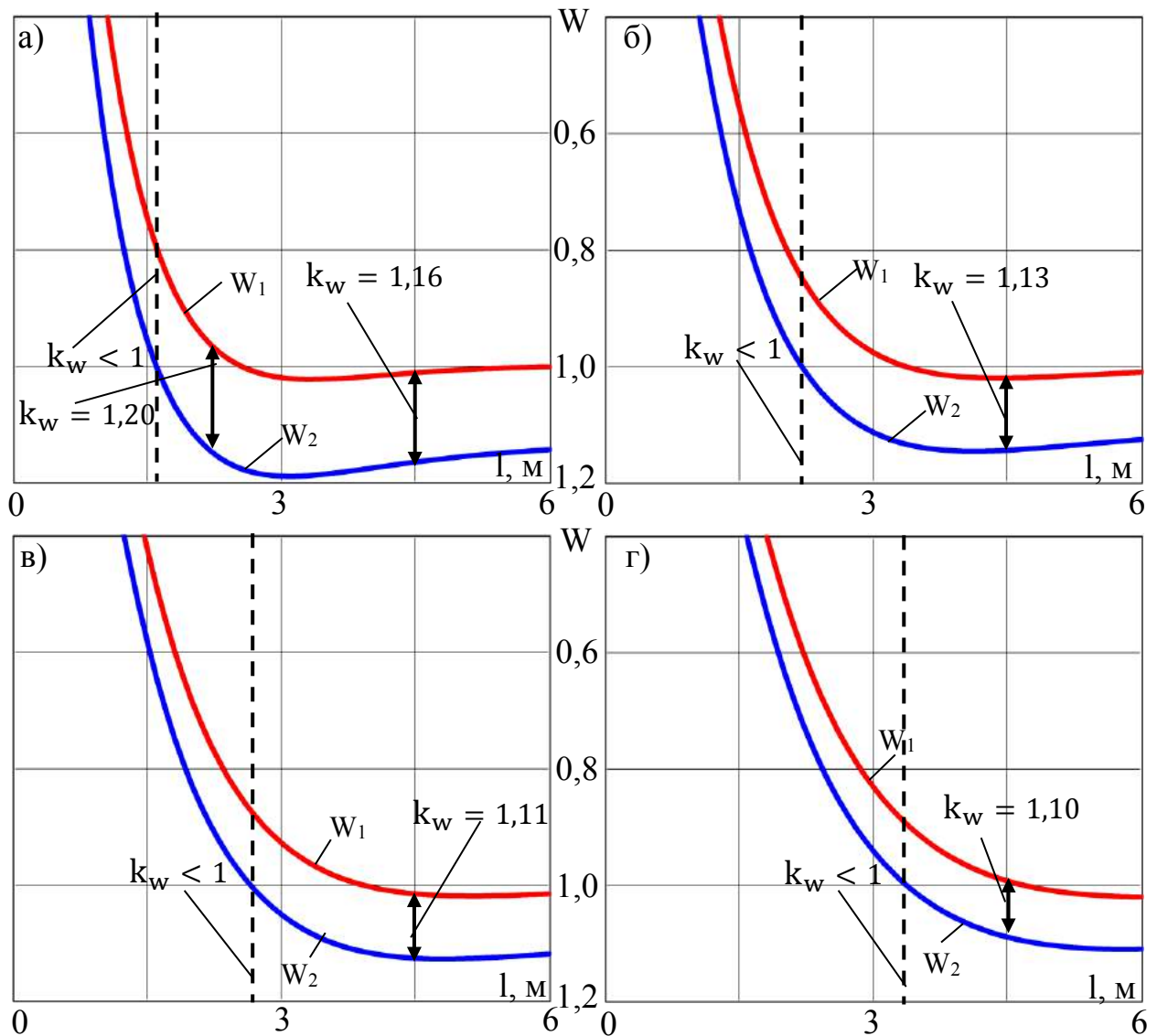


Рис. К.6. Графики зависимости прогибов  $W_1$  ( — ) — без внешнего воздействия,  $W_2$  ( — ) — с внешним воздействием, на балку с характеристиками породы известняка толщиной  $m_{пр}=0,1В$  по центру выработки  $x=0,5В$  в зависимости от её длины  $l$  для различных пород: а) аргиллит; б) алевролит; в) песчаник; г) известняк

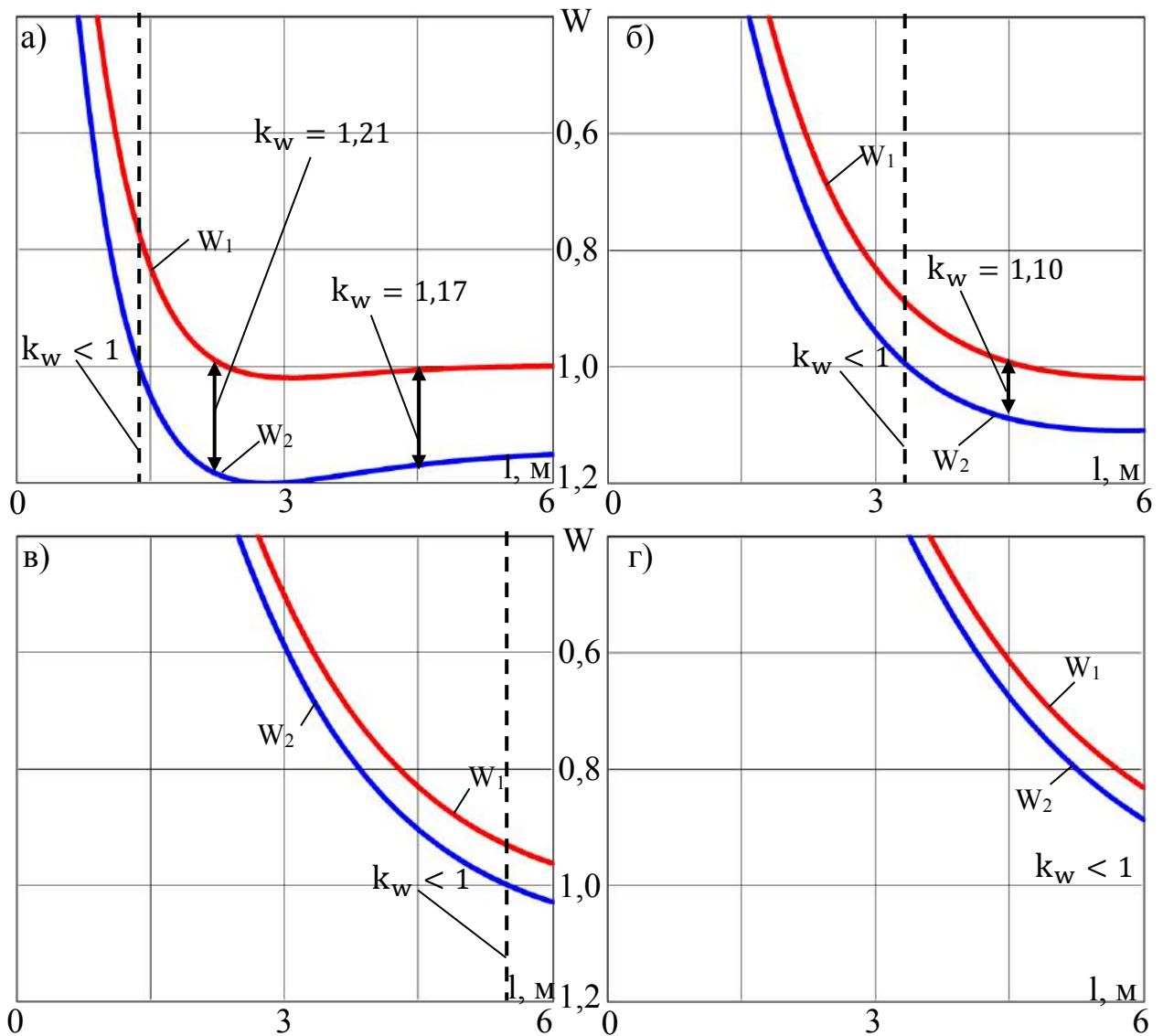


Рис. К.7. Графики зависимости прогибов  $W_1$  ( — ) — без внешнего воздействия,  $W_2$  ( — ) — с внешним воздействием, на балку с характеристиками породы известняка по центру выработки  $x=0,5$ В в зависимости от её длины  $l$  при различной толщине: а)  $m_{пр}=0,05$ В; б)  $m_{пр}=0,1$ В; в)  $m_{пр}=0,15$ В; г)  $m_{пр}=0,2$ В



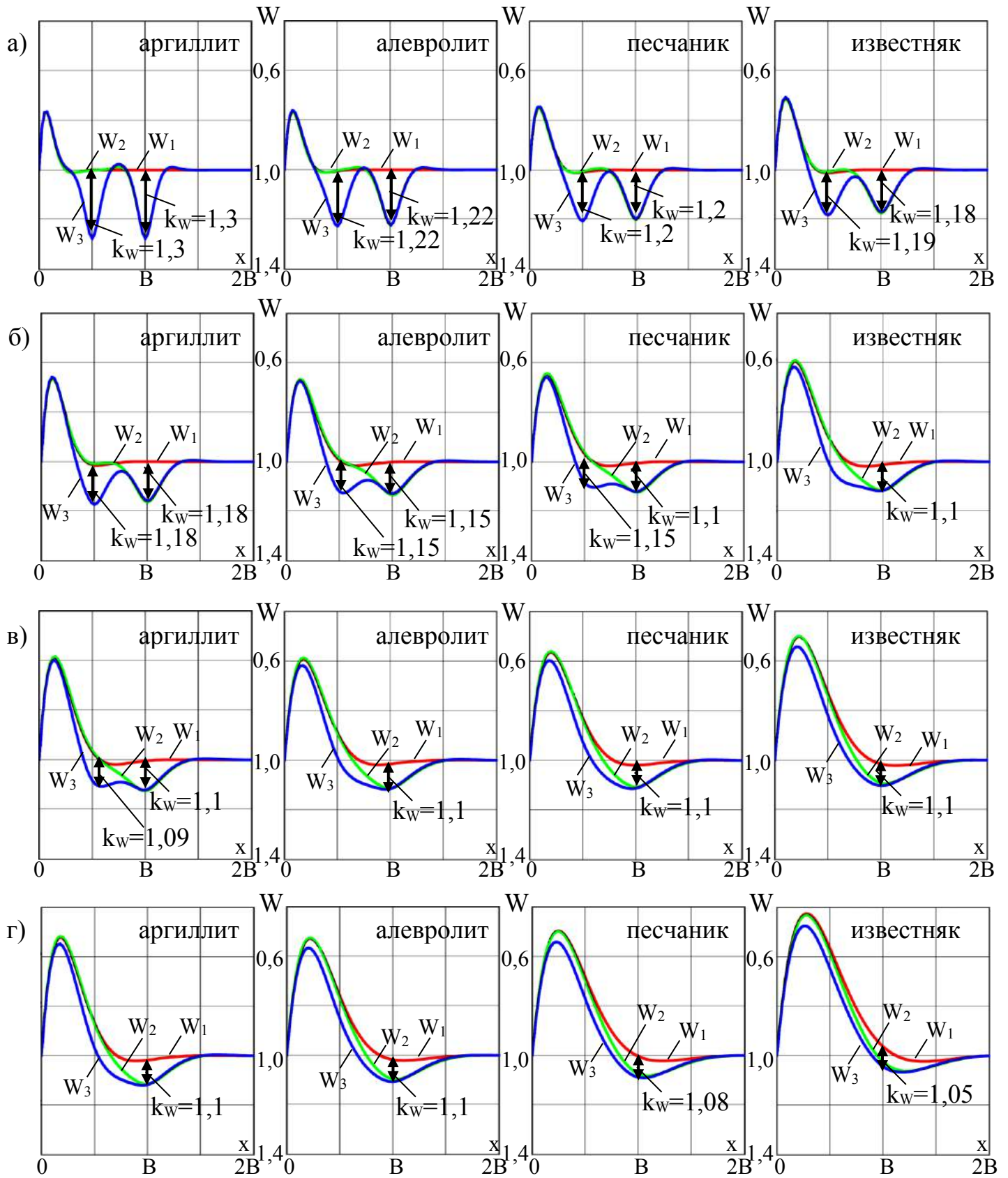


Рис. К.8. Графики зависимости прогибов  $W_1$  (—) — без внешнего воздействия,  $W_2$  (—) — с внешним воздействием от охранного сооружения,  $W_3$  (—) — с внешними воздействиями от крепи усиления и охранного сооружения, на балку длиной  $l=2B$  шириной выработки  $B$ , с характеристиками пород аргиллита, алевролита, песчаника, известняка с толщиной равной: а)  $m_{пр}=0,05B$ ; б)  $m_{пр}=0,1B$ ; в)  $m_{пр}=0,15B$ ; г)  $m_{пр}=0,2B$

## Приложение Л

Результаты аналитических исследований воздействия системы  
«прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» в SolidWorks Simulation

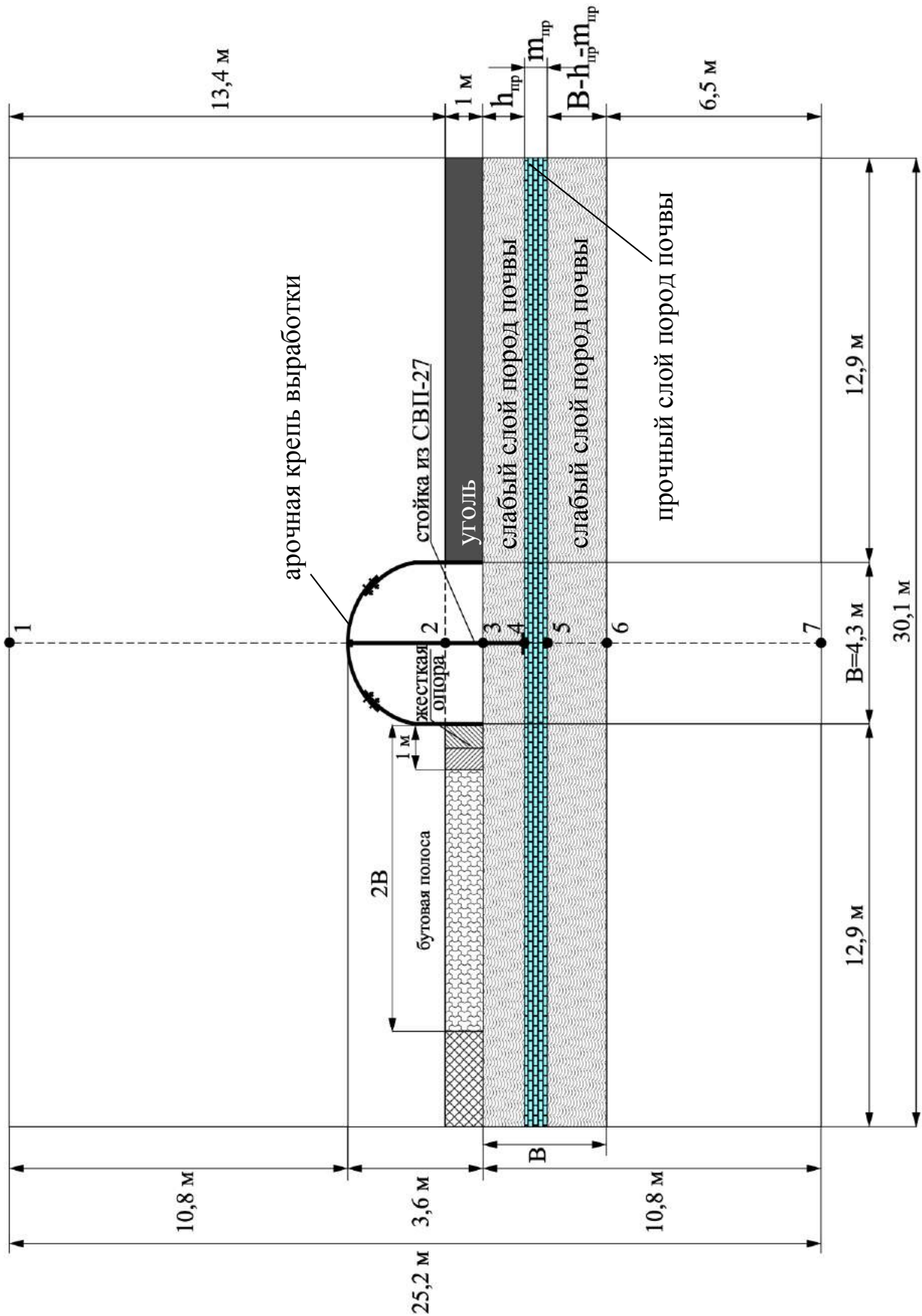
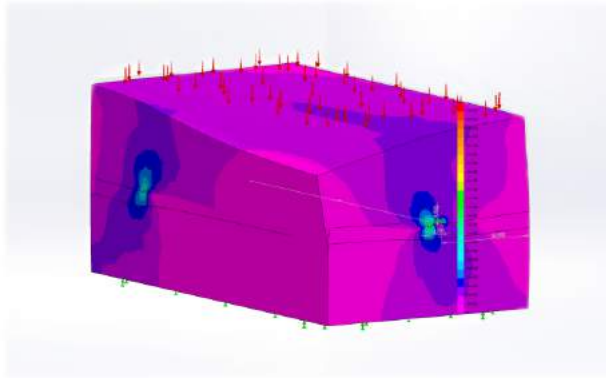


Рис. Л.1. Схема модели в SolidWorks Simulation для расчета смещений почвы с мероприятиями



## Simulation of с мероприятиями № 1

Date: May 14 2014  
 Designer: Solidworks  
 Study name: Исследование 1  
 Analysis type: Static

### Table of Contents

- Description ..... 1
- Assumptions ..... 2
- Model Information ..... 2
- Study Properties ..... 4
- Units ..... 4
- Material Properties ..... 5
- Loads and Fixtures ..... 6
- Connector Definitions ..... 6
- Contact Information ..... 7
- Mesh Information ..... 7
- Sensor Details ..... 7
- Resultant Forces ..... 8
- Beams ..... 8
- Study Results ..... 9
- Conclusion ..... 12

### Description

No Data

### Assumptions Model Information

Model name: с мероприятиями № 1  
 Current Configuration: По умолчанию

#### Solid Bodies

Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
 Вырез-Вытянуть8	Solid Body	Mass: 7.30913e+008 kg Volume: 287761 m <sup>3</sup> Density: 2540 kg/m <sup>3</sup> Weight: 7.16295e+009 N	D:\Документы\SolidWorks \Касьяненко\кровля.SLD PRT May 14 16:02:27 2014
 Бобышка-Вытянуть1	Solid Body	Mass: 145350 kg Volume: 142.5 m <sup>3</sup> Density: 1020 kg/m <sup>3</sup> Weight: 1.42443e+006 N	D:\Документы\SolidWorks \Касьяненко\охр сооружения.SLDPRT May 14 16:02:27 2014

Рис. Л.2. Общий вид отчета в программном комплексе SolidWorks Simulation

Смещения кровли и почвы выработки в модели без мероприятий, полученные в программном комплексе SolidWorks Simulation

№/ №	Параметры прочного слоя в почве выработки			Параметры основной крепи	Параметры крепи усиления	Вертикальные смещения	
	Глубина залегания, $h_{пр}/В$	Толщина, $m_{пр}/В$	Прочность, $\sigma_{сж}^п$ , МПа (тип текстуры)			КМП-А3 из СВП-33	Упорные стойки и лежень из СВП-27
1	0	0,1	60 (I)	+	–	0,1555	0,1674
2	0	0,1	90 (II)	+	–	0,1538	0,1678
3	0	0,1	120 (III)	+	–	0,1520	0,1683
4	0	0,2	60 (I)	+	–	0,1503	0,1687
5	0	0,2	90 (II)	+	–	0,1485	0,1692
6	0	0,2	120 (III)	+	–	0,1788	0,1936
7	0	0,3	60 (I)	+	–	0,1770	0,1936
8	0	0,3	90 (II)	+	–	0,1752	0,1935
9	0	0,3	120 (III)	+	–	0,1734	0,1934
10	0	0,4	60 (I)	+	–	0,1716	0,1933
11	0	0,4	90 (II)	+	–	0,2021	0,2199
12	0	0,4	120 (III)	+	–	0,2002	0,2193
13	0	0,5	60 (I)	+	–	0,1983	0,2187
14	0	0,5	90 (II)	+	–	0,1965	0,2181
15	0	0,5	120 (III)	+	–	0,1946	0,2175
16	0,1	0,1	60 (I)	+	–	0,2253	0,2462
17	0,1	0,1	90 (II)	+	–	0,2234	0,2451
18	0,1	0,1	120 (III)	+	–	0,2215	0,2439
19	0,1	0,2	60 (I)	+	–	0,2196	0,2428
20	0,1	0,2	90 (II)	+	–	0,2177	0,2416
21	0,1	0,2	120 (III)	+	–	0,2486	0,2725
22	0,1	0,3	60 (I)	+	–	0,2466	0,2708
23	0,1	0,3	90 (II)	+	–	0,2447	0,2692
24	0,1	0,3	120 (III)	+	–	0,2427	0,2675
25	0,1	0,4	60 (I)	+	–	0,2407	0,2658
26	0,1	0,4	90 (II)	+	–	0,2719	0,2988
27	0,1	0,4	120 (III)	+	–	0,2699	0,2966
28	0,1	0,5	60 (I)	+	–	0,2678	0,2944
29	0,1	0,5	90 (II)	+	–	0,2658	0,2922
30	0,1	0,5	120 (III)	+	–	0,2638	0,2900
31	0,2	0,1	60 (I)	+	–	0,1497	0,1621
32	0,2	0,1	90 (II)	+	–	0,1480	0,1637
33	0,2	0,1	120 (III)	+	–	0,1464	0,1652
34	0,2	0,2	60 (I)	+	–	0,1447	0,1668
35	0,2	0,2	90 (II)	+	–	0,1431	0,1683
36	0,2	0,2	120 (III)	+	–	0,1713	0,1865
37	0,2	0,3	60 (I)	+	–	0,1696	0,1875
38	0,2	0,3	90 (II)	+	–	0,1680	0,1885
39	0,2	0,3	120 (III)	+	–	0,1663	0,1895

40	0,2	0,4	60 (I)	+	–	0,1646	0,1906
41	0,2	0,4	90 (II)	+	–	0,1930	0,2109
42	0,2	0,4	120 (III)	+	–	0,1913	0,2113
43	0,2	0,5	60 (I)	+	–	0,1895	0,2118
44	0,2	0,5	90 (II)	+	–	0,1878	0,2123
45	0,2	0,5	120 (III)	+	–	0,1860	0,2128
46	0,3	0,1	60 (I)	+	–	0,2147	0,2352
47	0,3	0,1	90 (II)	+	–	0,2129	0,2352
48	0,3	0,1	120 (III)	+	–	0,2111	0,2351
49	0,3	0,2	60 (I)	+	–	0,2093	0,2351
50	0,3	0,2	90 (II)	+	–	0,2075	0,2350
51	0,3	0,2	120 (III)	+	–	0,2364	0,2596
52	0,3	0,3	60 (I)	+	–	0,2345	0,2590
53	0,3	0,3	90 (II)	+	–	0,2327	0,2584
54	0,3	0,3	120 (III)	+	–	0,2308	0,2578
55	0,3	0,4	60 (I)	+	–	0,2290	0,2572
56	0,3	0,4	90 (II)	+	–	0,2580	0,2840
57	0,3	0,4	120 (III)	+	–	0,2561	0,2828
58	0,3	0,5	60 (I)	+	–	0,2542	0,2817
59	0,3	0,5	90 (II)	+	–	0,2523	0,2806
60	0,3	0,5	120 (III)	+	–	0,2504	0,2795
61	0,4	0,1	60 (I)	+	–	0,1438	0,1569
62	0,4	0,1	90 (II)	+	–	0,1423	0,1596
63	0,4	0,1	120 (III)	+	–	0,1407	0,1622
64	0,4	0,2	60 (I)	+	–	0,1392	0,1649
65	0,4	0,2	90 (II)	+	–	0,1377	0,1675
66	0,4	0,2	120 (III)	+	–	0,1639	0,1794
67	0,4	0,3	60 (I)	+	–	0,1623	0,1815
68	0,4	0,3	90 (II)	+	–	0,1607	0,1836
69	0,4	0,3	120 (III)	+	–	0,1591	0,1857
70	0,4	0,4	60 (I)	+	–	0,1576	0,1878
71	0,4	0,4	90 (II)	+	–	0,1840	0,2018
72	0,4	0,4	120 (III)	+	–	0,1823	0,2034
73	0,4	0,5	60 (I)	+	–	0,1807	0,2049
74	0,4	0,5	90 (II)	+	–	0,1791	0,2065
75	0,4	0,5	120 (III)	+	–	0,1775	0,2081
76	0,5	0,1	60 (I)	+	–	0,2040	0,2242
77	0,5	0,1	90 (II)	+	–	0,2024	0,2253
78	0,5	0,1	120 (III)	+	–	0,2007	0,2263
79	0,5	0,2	60 (I)	+	–	0,1990	0,2273
80	0,5	0,2	90 (II)	+	–	0,1973	0,2284
81	0,5	0,2	120 (III)	+	–	0,2241	0,2466
82	0,5	0,3	60 (I)	+	–	0,2224	0,2471
83	0,5	0,3	90 (II)	+	–	0,2207	0,2477
84	0,5	0,3	120 (III)	+	–	0,2189	0,2482
85	0,5	0,4	60 (I)	+	–	0,2172	0,2487
86	0,5	0,4	90 (II)	+	–	0,2442	0,2691
87	0,5	0,4	120 (III)	+	–	0,2424	0,2690
88	0,5	0,5	60 (I)	+	–	0,2406	0,2690
89	0,5	0,5	90 (II)	+	–	0,2389	0,2690
90	0,5	0,5	120 (III)	+	–	0,2371	0,2690

Смещения кровли и почвы выработки в модели с мероприятиями, полученные в программном комплексе SolidWorks Simulation

№/ №	Параметры прочного слоя в почве выработки			Параметры основной крепи	Параметры крепи усиления	Вертикальные смещения	
	Глубина залегания, $h_{пр}/В$	Толщина, $m_{пр}/В$	Прочность, $\sigma_{сж}^п$ , МПа (тип текстуры)			КМП-А3 из СВП-33	Упорные стойки и лежень из СВП-27
1	0	0,1	60 (I)	+	+	0,0641	0,1640
2	0	0,1	90 (II)	+	+	0,0702	0,1565
3	0	0,1	120 (III)	+	+	0,0761	0,1496
4	0	0,2	60 (I)	+	+	0,0819	0,1432
5	0	0,2	90 (II)	+	+	0,0876	0,1374
6	0	0,2	120 (III)	+	+	0,0905	0,2068
7	0	0,3	60 (I)	+	+	0,0932	0,2016
8	0	0,3	90 (II)	+	+	0,0959	0,1965
9	0	0,3	120 (III)	+	+	0,0986	0,1917
10	0	0,4	60 (I)	+	+	0,1012	0,1871
11	0	0,4	90 (II)	+	+	0,1117	0,2453
12	0	0,4	120 (III)	+	+	0,1125	0,2416
13	0	0,5	60 (I)	+	+	0,1133	0,2381
14	0	0,5	90 (II)	+	+	0,1141	0,2346
15	0	0,5	120 (III)	+	+	0,1148	0,2312
16	0,1	0,1	60 (I)	+	+	0,1351	0,2873
17	0,1	0,1	90 (II)	+	+	0,1334	0,2867
18	0,1	0,1	120 (III)	+	+	0,1317	0,2860
19	0,1	0,2	60 (I)	+	+	0,1301	0,2854
20	0,1	0,2	90 (II)	+	+	0,1284	0,2847
21	0,1	0,2	120 (III)	+	+	0,1724	0,3484
22	0,1	0,3	60 (I)	+	+	0,1647	0,3584
23	0,1	0,3	90 (II)	+	+	0,1571	0,3691
24	0,1	0,3	120 (III)	+	+	0,1495	0,3806
25	0,1	0,4	60 (I)	+	+	0,1421	0,3928
26	0,1	0,4	90 (II)	+	+	0,2140	0,4200
27	0,1	0,4	120 (III)	+	+	0,1992	0,4480
28	0,1	0,5	60 (I)	+	+	0,1846	0,4803
29	0,1	0,5	90 (II)	+	+	0,1701	0,5179
30	0,1	0,5	120 (III)	+	+	0,1557	0,5623
31	0,2	0,1	60 (I)	+	+	0,0675	0,1839
32	0,2	0,1	90 (II)	+	+	0,0671	0,1649
33	0,2	0,1	120 (III)	+	+	0,0666	0,1495
34	0,2	0,2	60 (I)	+	+	0,0662	0,1366
35	0,2	0,2	90 (II)	+	+	0,0657	0,1258
36	0,2	0,2	120 (III)	+	+	0,0786	0,2146
37	0,2	0,3	60 (I)	+	+	0,0830	0,1971
38	0,2	0,3	90 (II)	+	+	0,0872	0,1821
39	0,2	0,3	120 (III)	+	+	0,0912	0,1692

40	0,2	0,4	60 (I)	+	+	0,0951	0,1578
41	0,2	0,4	90 (II)	+	+	0,0892	0,2443
42	0,2	0,4	120 (III)	+	+	0,0970	0,2267
43	0,2	0,5	60 (I)	+	+	0,1045	0,2113
44	0,2	0,5	90 (II)	+	+	0,1116	0,1978
45	0,2	0,5	120 (III)	+	+	0,1185	0,1857
46	0,3	0,1	60 (I)	+	+	0,1000	0,2743
47	0,3	0,1	90 (II)	+	+	0,1118	0,2576
48	0,3	0,1	120 (III)	+	+	0,1231	0,2426
49	0,3	0,2	60 (I)	+	+	0,1340	0,2290
50	0,3	0,2	90 (II)	+	+	0,1445	0,2166
51	0,3	0,2	120 (III)	+	+	0,1119	0,3063
52	0,3	0,3	60 (I)	+	+	0,1316	0,2953
53	0,3	0,3	90 (II)	+	+	0,1506	0,2847
54	0,3	0,3	120 (III)	+	+	0,1689	0,2747
55	0,3	0,4	60 (I)	+	+	0,1866	0,2651
56	0,3	0,4	90 (II)	+	+	0,1240	0,3387
57	0,3	0,4	120 (III)	+	+	0,1529	0,3352
58	0,3	0,5	60 (I)	+	+	0,1808	0,3317
59	0,3	0,5	90 (II)	+	+	0,2077	0,3279
60	0,3	0,5	120 (III)	+	+	0,2337	0,3241
61	0,4	0,1	60 (I)	+	+	0,0476	0,2111
62	0,4	0,1	90 (II)	+	+	0,0728	0,1749
63	0,4	0,1	120 (III)	+	+	0,0969	0,1494
64	0,4	0,2	60 (I)	+	+	0,1199	0,1305
65	0,4	0,2	90 (II)	+	+	0,1418	0,1159
66	0,4	0,2	120 (III)	+	+	0,0531	0,2237
67	0,4	0,3	60 (I)	+	+	0,0770	0,1926
68	0,4	0,3	90 (II)	+	+	0,0998	0,1691
69	0,4	0,3	120 (III)	+	+	0,1218	0,1507
70	0,4	0,4	60 (I)	+	+	0,1428	0,1359
71	0,4	0,4	90 (II)	+	+	0,0590	0,2431
72	0,4	0,4	120 (III)	+	+	0,0830	0,2126
73	0,4	0,5	60 (I)	+	+	0,1062	0,1887
74	0,4	0,5	90 (II)	+	+	0,1284	0,1696
75	0,4	0,5	120 (III)	+	+	0,1498	0,1540
76	0,5	0,1	60 (I)	+	+	0,0647	0,2613
77	0,5	0,1	90 (II)	+	+	0,0883	0,2320
78	0,5	0,1	120 (III)	+	+	0,1112	0,2084
79	0,5	0,2	60 (I)	+	+	0,1332	0,1890
80	0,5	0,2	90 (II)	+	+	0,1544	0,1728
81	0,5	0,2	120 (III)	+	+	0,0695	0,2703
82	0,5	0,3	60 (I)	+	+	0,0887	0,2475
83	0,5	0,3	90 (II)	+	+	0,1074	0,2281
84	0,5	0,3	120 (III)	+	+	0,1255	0,2113
85	0,5	0,4	60 (I)	+	+	0,1431	0,1968
86	0,5	0,4	90 (II)	+	+	0,0740	0,2788
87	0,5	0,4	120 (III)	+	+	0,0875	0,2624
88	0,5	0,5	60 (I)	+	+	0,1009	0,2478
89	0,5	0,5	90 (II)	+	+	0,1140	0,2345
90	0,5	0,5	120 (III)	+	+	0,1268	0,2225

Значения коэффициента эффективности  $k_3$  воздействия системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» от толщины  $m_{пр}$  и глубины залегания  $h_{пр}$  прочного слоя от подошвы выработки в модели для трех типов текстур пород почвы  $k_R^I$ ,  $k_R^{II}$ ,  $k_R^{III}$

Глубина залегания прочного слоя от подошвы выработки, $h_{пр}/B$	Толщина прочного слоя, $m_{пр}/B$				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
<b>I тип текстур пород почвы <math>k_R^I=0,17\div 1,50</math> (<math>\sigma_{сж}^n=60</math> МПа)</b>					
0	1,0202	1,0725	1,1250	1,1779	1,2310
0,125	0,9362	0,9603	0,9845	1,0087	1,0330
0,250	0,8570	0,8549	0,8528	0,8507	0,8486
0,375	0,7822	0,7557	0,7292	0,7029	0,6766
0,500	0,7115	0,6621	0,6129	0,5642	0,5157
<b>II тип текстур пород почвы <math>k_R^{II}=0,25\div 2,25</math> (<math>\sigma_{сж}^n=90</math> МПа)</b>					
0	0,8818	0,9925	1,1054	1,2205	1,3379
0,125	0,8690	0,9514	1,0351	1,1204	1,2073
0,250	0,8576	0,9130	0,9693	1,0266	1,0849
0,375	0,8474	0,8771	0,9075	0,9385	0,9702
0,500	0,8384	0,8436	0,8494	0,8556	0,8623
<b>III тип текстур пород почвы <math>k_R^{III}=0,33\div 3,00</math> (<math>\sigma_{сж}^n=120</math> МПа)</b>					
0	0,7434	0,9126	1,0855	1,2631	1,4448
0,125	0,8018	0,9424	1,0856	1,2321	1,3815
0,250	0,8581	0,9710	1,0857	1,2025	1,3212
0,375	0,9126	0,9986	1,0858	1,1742	1,2637
0,500	0,9652	1,0252	1,0859	1,1470	1,2088



Приложение М  
 Результаты лабораторных исследований воздействия  
 системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи»

Таблица М.1.

Смещения почвы выемочной выработки в модели без мероприятий  $U_{\text{пр}}^{\text{Б}}$  при наличии прочного слоя толщиной  $m_{\text{пр}}$  и глубиной залегания от подошвы выработки  $h_{\text{пр}}$  для трех типов текстур пород почвы  $k_{\text{R}}^{\text{I}}$ ,  $k_{\text{R}}^{\text{II}}$ ,  $k_{\text{R}}^{\text{III}}$  от нагрузки в модели

Нагрузка в модели		$\frac{m_{\text{пр}}}{B} = 0,1 ; \frac{h_{\text{пр}}}{B} = 0,1$		$\frac{m_{\text{пр}}}{B} = 0,1 ; \frac{h_{\text{пр}}}{B} = 0,3$		$\frac{m_{\text{пр}}}{B} = 0,3 ; \frac{h_{\text{пр}}}{B} = 0,1$		$\frac{m_{\text{пр}}}{B} = 0,3 ; \frac{h_{\text{пр}}}{B} = 0,3$	
кгс/см <sup>2</sup>	МПа	$U_{\text{пр}}^{\text{Б}}$ , мм	$U_{\text{пр}}^{\text{Б}}/B$	$U_{\text{пр}}^{\text{Б}}$ , мм	$U_{\text{пр}}^{\text{Б}}/B$	$U_{\text{пр}}^{\text{Б}}$ , мм	$U_{\text{пр}}^{\text{Б}}/B$	$U_{\text{пр}}^{\text{Б}}$ , мм	$U_{\text{пр}}^{\text{Б}}/B$
<b>I тип текстур пород почвы – <math>k_{\text{R}}^{\text{I}}=0,14 \div 0,86</math></b>									
0,4	0,0413	4	0,04	2	0,02	1	0,01	3	0,03
0,8	0,0826	6	0,06	4	0,04	2	0,02	5	0,05
1,2	0,1240	21	0,21	7	0,07	4	0,04	10	0,10
1,6	0,1653	22	0,22	9	0,09	8	0,08	13	0,13
2,0	0,2066	26	0,26	11	0,11	9	0,09	14	0,14
2,4	0,2479	29	0,29	18	0,18	15	0,15	19	0,19
2,8	0,2892	47	0,47	30	0,30	25	0,25	27	0,27
3,2	0,3305	49	0,49	32	0,32	26	0,26	33	0,33
3,6	0,3719	67	0,67	43	0,43	35	0,35	47	0,47
4,1	0,4132	69	0,69	44	0,44	36	0,36	49	0,49
4,5	0,4545	70	0,70	58	0,58	37	0,37	49	0,49
<b>II тип текстур пород почвы – <math>k_{\text{R}}^{\text{II}}=0,22 \div 1,29</math></b>									
0,4	0,0413	3	0,03	2	0,02	2	0,02	1	0,01
0,8	0,0826	9	0,09	4	0,04	3	0,03	4	0,04
1,2	0,1240	26	0,26	9	0,09	4	0,04	9	0,09
1,6	0,1653	32	0,32	12	0,12	11	0,11	17	0,17
2,0	0,2066	33	0,33	15	0,15	12	0,12	18	0,18
2,4	0,2479	34	0,34	21	0,21	13	0,13	19	0,19
2,8	0,2892	48	0,48	36	0,36	27	0,27	29	0,29
3,2	0,3305	49	0,49	38	0,38	29	0,29	31	0,31
3,6	0,3719	50	0,50	42	0,42	31	0,31	32	0,32
4,1	0,4132	51	0,51	45	0,45	33	0,33	33	0,33
4,5	0,4545	52	0,52	51	0,51	35	0,35	34	0,34
<b>III тип текстур пород почвы – <math>k_{\text{R}}^{\text{III}}=0,33 \div 1,70</math></b>									
0,4	0,0413	3	0,03	1	0,01	1	0,01	2	0,02
0,8	0,0826	5	0,05	3	0,03	1	0,01	3	0,03
1,2	0,1240	14	0,14	5	0,05	2	0,02	6	0,06
1,6	0,1653	15	0,15	5	0,05	4	0,04	7	0,07
2,0	0,2066	16	0,16	6	0,06	4	0,04	8	0,08
2,4	0,2479	18	0,18	12	0,12	5	0,05	8	0,08
2,8	0,2892	24	0,24	18	0,18	16	0,16	14	0,14
3,2	0,3305	25	0,25	20	0,20	16	0,16	16	0,16
3,6	0,3719	40	0,40	29	0,29	19	0,19	23	0,23
4,1	0,4132	41	0,41	32	0,32	20	0,20	24	0,24
4,5	0,4545	44	0,44	42	0,42	23	0,23	26	0,26

Таблица М.2.

Смещения почвы выемочной выработки в модели с мероприятиями  $U_{\text{ПР}}^{\text{М}}$  при наличии прочного слоя толщиной  $m_{\text{ПР}}$  и глубиной залегания от подошвы выработки  $h_{\text{ПР}}$  для трех типов текстур пород почвы  $k_{\text{R}}^{\text{I}}$ ,  $k_{\text{R}}^{\text{II}}$ ,  $k_{\text{R}}^{\text{III}}$  от нагрузки в модели

Нагрузка в модели		$\frac{m_{\text{ПР}}}{B} = 0,1 ; \frac{h_{\text{ПР}}}{B} = 0,1$		$\frac{m_{\text{ПР}}}{B} = 0,1 ; \frac{h_{\text{ПР}}}{B} = 0,3$		$\frac{m_{\text{ПР}}}{B} = 0,3 ; \frac{h_{\text{ПР}}}{B} = 0,1$		$\frac{m_{\text{ПР}}}{B} = 0,3 ; \frac{h_{\text{ПР}}}{B} = 0,3$	
кгс/см <sup>2</sup>	МПа	$U_{\text{ПР}}^{\text{М}}$ , мм	$U_{\text{ПР}}^{\text{М}}/B$	$U_{\text{ПР}}^{\text{М}}$ , мм	$U_{\text{ПР}}^{\text{М}}/B$	$U_{\text{ПР}}^{\text{М}}$ , мм	$U_{\text{ПР}}^{\text{М}}/B$	$U_{\text{ПР}}^{\text{М}}$ , мм	$U_{\text{ПР}}^{\text{М}}/B$
<b>I тип текстур пород почвы – <math>k_{\text{R}}^{\text{I}}=0,14 \div 0,86</math></b>									
0,4	0,0413	2	0,02	2	0,02	1	0,01	2	0,02
0,8	0,0826	5	0,05	4	0,04	2	0,02	3	0,03
1,2	0,1240	11	0,11	8	0,08	5	0,05	6	0,06
1,6	0,1653	15	0,15	12	0,12	9	0,09	10	0,10
2,0	0,2066	20	0,20	16	0,16	10	0,10	12	0,12
2,4	0,2479	23	0,23	20	0,20	14	0,14	16	0,16
2,8	0,2892	30	0,30	27	0,27	21	0,21	22	0,22
3,2	0,3305	33	0,33	30	0,30	23	0,23	25	0,25
3,6	0,3719	39	0,39	36	0,36	28	0,28	30	0,30
4,1	0,4132	41	0,41	38	0,38	29	0,29	32	0,32
4,5	0,4545	43	0,43	41	0,41	31	0,31	33	0,33
<b>II тип текстур пород почвы – <math>k_{\text{R}}^{\text{II}}=0,22 \div 1,29</math></b>									
0,4	0,0413	2	0,02	2	0,02	1	0,01	1	0,01
0,8	0,0826	5	0,05	4	0,04	2	0,02	3	0,03
1,2	0,1240	11	0,11	8	0,08	4	0,04	6	0,06
1,6	0,1653	16	0,16	12	0,12	9	0,09	11	0,11
2,0	0,2066	20	0,20	16	0,16	10	0,10	12	0,12
2,4	0,2479	22	0,22	19	0,19	12	0,12	14	0,14
2,8	0,2892	28	0,28	25	0,25	19	0,19	20	0,20
3,2	0,3305	30	0,30	27	0,27	20	0,20	22	0,22
3,6	0,3719	32	0,32	30	0,30	21	0,21	22	0,22
4,1	0,4132	33	0,33	32	0,32	22	0,22	23	0,23
4,5	0,4545	35	0,35	34	0,34	26	0,26	26	0,26
<b>III тип текстур пород почвы – <math>k_{\text{R}}^{\text{III}}=0,33 \div 1,70</math></b>									
0,4	0,0413	2	0,02	1	0,01	0	0,00	1	0,01
0,8	0,0826	4	0,04	3	0,03	1	0,01	2	0,02
1,2	0,1240	7	0,07	5	0,05	2	0,02	4	0,04
1,6	0,1653	9	0,09	6	0,06	4	0,04	5	0,05
2,0	0,2066	12	0,12	9	0,09	5	0,05	6	0,06
2,4	0,2479	14	0,14	12	0,12	6	0,06	7	0,07
2,8	0,2892	16	0,16	15	0,15	12	0,12	11	0,11
3,2	0,3305	18	0,18	17	0,17	14	0,14	13	0,13
3,6	0,3719	25	0,25	23	0,23	16	0,16	17	0,17
4,1	0,4132	27	0,27	25	0,25	17	0,17	18	0,18
4,5	0,4545	28	0,28	28	0,28	19	0,19	19	0,19

Значения коэффициента эффективности  $k$ , воздействия системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» при наличии прочного слоя толщиной  $m_{np}$  и глубиной залегания от подошвы выработки  $h_{np}$  для трех типов текстур пород почвы  $k_R^I$ ,  $k_R^{II}$ ,  $k_R^{III}$  в зависимости от нагрузки в модели

Нагрузка в модели		$\frac{m_{np}}{B} = 0,1 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,1$	$\frac{m_{np}}{B} = 0,1 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,3$	$\frac{m_{np}}{B} = 0,3 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,1$	$\frac{m_{np}}{B} = 0,3 ; \frac{h_{np}}{B} = 0,3$
кгс/см <sup>2</sup>	МПа				
<b>I тип текстур пород почвы – <math>k_R^I=0,14 \div 0,86</math></b>					
0,4	0,0413	1,618	1,080	1,080	1,621
0,8	0,0826	1,260	0,900	0,883	1,440
1,2	0,1240	1,944	0,864	0,864	1,512
1,6	0,1653	1,495	0,748	0,935	1,308
2,0	0,2066	1,305	0,675	0,936	1,170
2,4	0,2479	1,296	0,891	1,053	1,215
2,8	0,2892	1,584	1,116	1,167	1,224
3,2	0,3305	1,495	1,090	1,122	1,340
3,6	0,3719	1,704	1,201	1,257	1,536
4,1	0,4132	1,667	1,171	1,250	1,539
4,5	0,4545	1,622	1,399	1,217	1,473
<b>II тип текстур пород почвы – <math>k_R^{II}=0,22 \div 1,29</math></b>					
0,4	0,0413	1,615	1,077	1,617	1,082
0,8	0,0826	1,620	1,080	1,405	1,260
1,2	0,1240	2,376	1,082	0,972	1,621
1,6	0,1653	1,994	0,997	1,308	1,622
2,0	0,2066	1,696	0,945	1,179	1,451
2,4	0,2479	1,565	1,094	1,105	1,369
2,8	0,2892	1,728	1,404	1,404	1,443
3,2	0,3305	1,630	1,380	1,424	1,444
3,6	0,3719	1,565	1,397	1,464	1,441
4,1	0,4132	1,515	1,432	1,508	1,430
4,5	0,4545	1,494	1,497	1,325	1,296
<b>III тип текстур пород почвы – <math>k_R^{III}=0,33 \div 1,70</math></b>					
0,4	0,0413	1,755	0,945	1,125	1,800
0,8	0,0826	1,410	1,035	0,645	1,425
1,2	0,1240	2,070	0,918	0,882	1,584
1,6	0,1653	1,713	0,789	0,981	1,314
2,0	0,2066	1,373	0,709	0,776	1,163
2,4	0,2479	1,320	0,965	0,894	1,144
2,8	0,2892	1,494	1,200	1,353	1,203
3,2	0,3305	1,392	1,166	1,205	1,205
3,6	0,3719	1,620	1,273	1,199	1,387
4,1	0,4132	1,551	1,261	1,195	1,365
4,5	0,4545	1,549	1,508	1,235	1,336

## Приложение Н

УТВЕРЖДАЮ: *Копия*

Главный инженер  
шахты им. Е. Т. Абакумова  
ГП «Донецкая угольная  
энергетическая компания»



Р. А. Ястремский

2010 г.

**МЕТОДИКА**  
**проведения инструментальных наблюдений за проявлениями горного**  
**давления в выемочных выработках пласта  $m_3$  шахты им. Е. Т. Абакумова**

Инструментальные наблюдения за проявлениями горного давления в почве выработки проводятся обычно на характерном участке подготовительной выработки, который по мере движения и приближения к нему очистного забоя поочередно поддерживается вне зоны влияния забоя, в зоне опорного давления, в створе с лавой и за ней в зоне влияния выработанного пространства при соблюдении количественных и качественных параметров способов крепления и охраны выработки в плане возведения опорных конструкций на сопряжениях очистного забоя с выработками и установки крепей усиления, предусмотренных технологическими паспортами ведения очистных работ и крепления подготовительных выработок.

При проведении шахтных инструментальных наблюдений за проявлениями горного давления необходимо определить:

- структурные особенности строения вмещающих пород;
- физико-механические свойства боковых пород и особенности их изменения под воздействием ведения горных работ;
- параметры исходного напряженного состояния горного массива;
- смещения боковых пород на контуре выработок и вне зоны и в области влияния очистных работ;
- параметры силового и кинематического взаимодействия вмещающих пород с крепью и опорными конструкциями на сопряжениях лавы с подготовительными выработками.

Для повышения эффективности проведения натурных исследований и получения достоверных и надежных результатов необходимо использовать следующие методические рекомендации, выработанные на основе проведения многочисленных научных исследований:

1. Выбор объекта исследований определяется в соответствии со спецификой решаемых научных задач, сформулированных в результате анализа состояния вопроса по выбранной или заданной теме НИР. В настоящей работе объектом исследований являются элементы сложной структурно-разнородной системы взаимодействующих элементов "боковые породы - крепь".

2. Выбор вида и места установки измерительных приборов и инструментов осуществляются во всех случаях с учетом обеспечения непосредственного и безопасного

доступа исследователя к объекту. Наиболее рациональным и целесообразным является применение методов и приборов, основанных на прямых визуальных измерениях показателей, таких как рулетки с натяжным и отсчетным устройством, измерительные стойки, угломеры, механические динамометры индикаторного часового типа и т.д.

3. Физико-механические и структурные свойства боковых пород и угольных пластов изучаются для сопоставления полученных результатов с результатами ранее проведенных исследований, а также для формирования массива исходных данных и граничных условий для проведения лабораторных и аналитических исследований.

4. Учет типичности горно-геологических условий и представительности района или участка проведения исследований выполняется для последующего вывода эмпирических зависимостей.

5. Соответствие используемых методик измерений, применяемых измерительных устройств и приборов специфике поставленной задачи исследований определяется по показателю надежности полученных результатов, диапазону изменения этих величин и точности измерений.

6. Обеспечение достоверности измеренных показателей проявлений горного давления во многом предопределяется достаточностью объема измерений, числом измерительных приборов, частотой и длительностью измерений.

7. Корректность обработки и анализа полученных результатов измерений определяются математической обработкой и физической интерпретацией.

При проведении натурных исследований за проявлениями горного давления на контуре подготовительных выработок в зоне влияния горных работ производится изучение: особенностей механизма деформирования горного массива боковых пород; измеряются относительные смещения (конвергенция) кровли, почвы и боков выработок по контурным замерным станциям; особенностей разрушения и расслоения пород на контуре выработок.

Измерение относительных смещений кровли и почвы, а также боков подготовительных выработок осуществляется по методике ВНИМИ, вместо металлической рулетки использовался лазерный дальномер Bosch DLE 70 Professional. Измерения производятся по контурным замерным станциям, устанавливаемым на контрольном и экспериментальных участках с периодичностью замеров раз в двое суток в течение 1,5 месяцев.

Для определения относительных смещений пород кровли, почвы и боков выработок в общей конвергенции производится текущий замер их смещений от центральных (горизонтальных и вертикальных) линий, образующихся за счет натягивания резинки между крючками противоположных реперов.

Для определения абсолютных смещений боковых пород с периодичностью 1 - 2 раза за квартал производится прокладка нивелирного хода по подготовительной выработке с экспериментальными участками.

Для уточнения физико-механических характеристик вмещающих выработку пород отбор породных проб необходимо осуществлять вне зоны влияния очистных работ. Определение прочностных и деформационных свойств отобранных образцов пород будет произведено в лабораториях горного института ДонНТУ.

Учитывая специфику и цель проведения исследований в настоящей работе, которая заключается в разработке и внедрении в условиях шахты им. Е. Т. Абакумова новых способов сохранения устойчивости интенсивно деформирующихся выемочных выработок за счет оптимизации взаимодействия элементов структурно-разнородной системы “прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи” шахтные исследования

планируется провести в три этапа соответственно на 1-ом контрольном и 2-х экспериментальных участках длиной по 40 м с расстоянием между ними 40 м. Схема расположения экспериментальных участков и контурных замерных станций на них представлена на рис 1.



Рис. 1 Схема расположения экспериментальных участков и контурных замерных станций по длине конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта  $m_3$

1 этап (контрольный участок). Смещения боковых пород на контуре выемочных выработок измеряются по контурным замерным станциям. Замерные станции состоят из трех секций (рам крепи), на каждой из которых устанавливаются по шесть реперов (рис. 2).

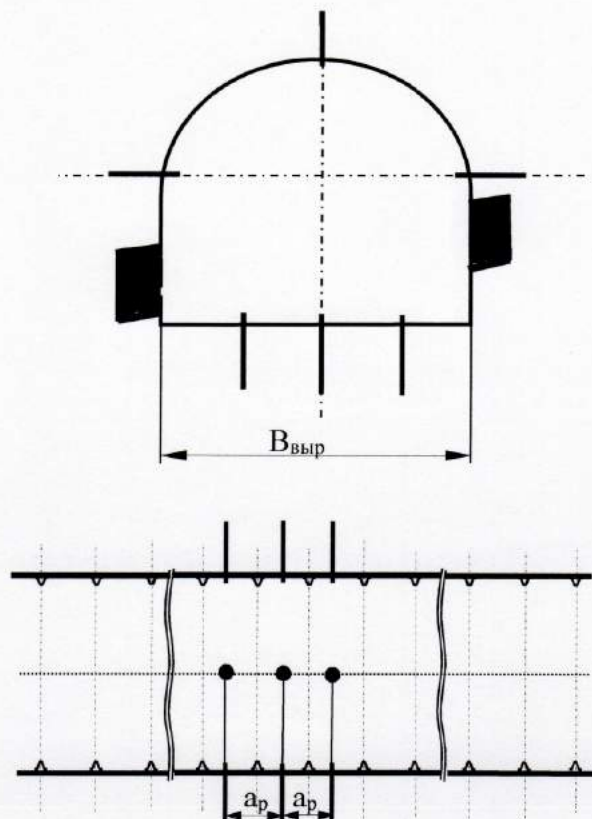


Рис. 2 Схема расположения контурных реперов на замерных станциях при проведении инструментальных наблюдений за проявлениями горного давления в выемочной выработке

Для осуществления замеров в выступающий в выработку конец каждого репера прикладывался торцом лазерный дальномер Bosch DLE 70 Professional измерение осуществляется по центру лазерного луча, включая и наведении на противоположный репер (рис. 3). Для измерения максимума с помощью специальной кнопки: измерение от задней кромки, измерение от передней кромки, измерение от резьбы штатива, измерение от задней кромки упорного штифта. Измерение минимума служит для определения самого короткого расстояния от неизменяемой исходной точки. Для определения вертикалей или горизонталей используется ватерпас, который позволяет просто установить измерительный инструмент в горизонтальное положение.

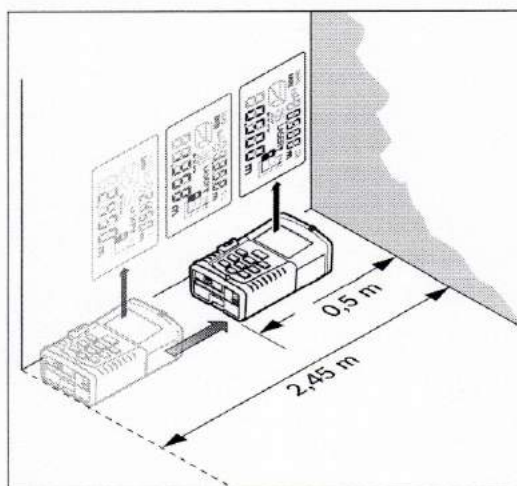


Рис. 3 Способ измерения лазерный дальномером Bosch DLE 70 Professional

Инструментальные наблюдения за проявлениями горного давления необходимо проводить на участке подготовительной выработки, который по мере движения и приближения к нему очистного забоя поочередно поддерживается вне зоны влияния забоя, в зоне опорного давления лавы и в зоне влияния выработанного пространства. Для измерения в шахте использовалась функция измерения минимального значения. При продолжительном измерении измерительный инструмент можно передвигать относительно цели, при этом измеренное значение актуализируется приблизительно каждые 0,5 секунд. Измерительный инструмент передвигался до тех пор, пока не отобразит минимальное значение. Значение поочередно записывались в память устройства.

Для проведения промышленного эксперимента был выбран конвейерный штрек 8-й западной лавы пласта  $m_3$  шахты им. Е.Т. Абакумова.

2 этап (1-й экспериментальный участок). На данном этапе применяются шахтные технологические решения по обеспечению устойчивости конвейерного штрека. Замеры смещений боковых пород на контуре штрека осуществляются по 3 группам контурных замерных станций (в центре каждого участка наблюдений и на расстоянии 10 м от него в обе стороны по длине выработки). Контурная замерная станция сооружается также из трех секций (рам крепи), на каждой из которых устанавливаются по шесть реперов (рис.4). Шахтный вариант мероприятий по обеспечению устойчивости, заключался в следующем: в след за лавой под каждую раму крепи, устанавливались деревянные стойки, опирающиеся непосредственно на почву через отрезки деревянных шпал.

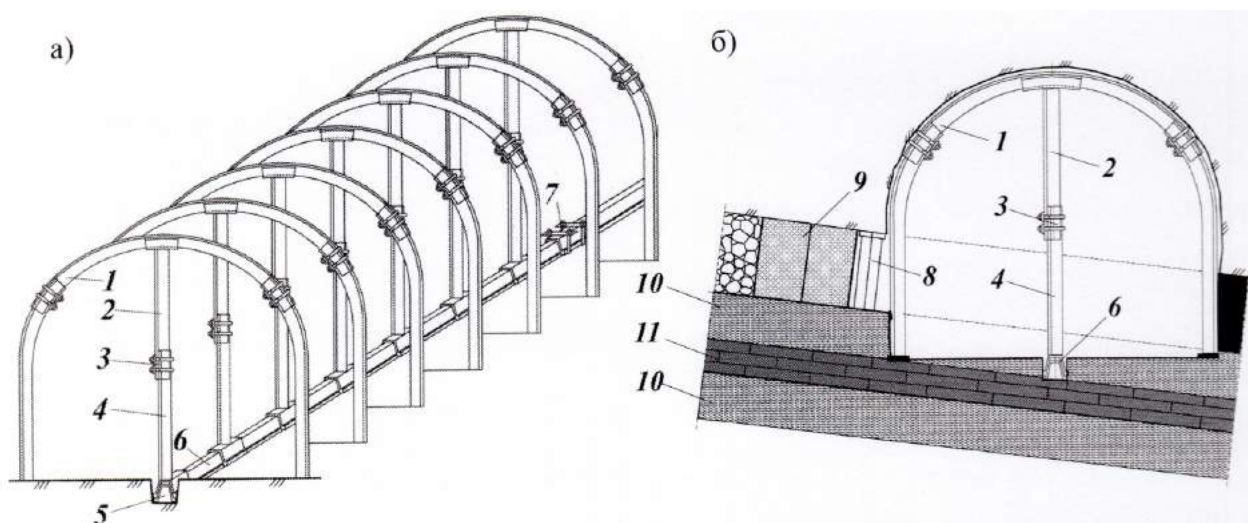


Рис. 6 Общий вид предлагаемого способа: по длине выработки (а) и в поперечном сечении штрека (б): 1 - крепь выработки; 2 – верхняя часть стойки крепи усиления; 3 – замок крепи усиления; 4 – нижняя часть стойки крепи усиления; 5 – продольная канавка; 6 – продольный лежень в канавке; 7 – замок для соединения отрезков продольного лежня; 8 – деревянные стойки; 9 – жесткое охранное сооружение из двух рядов крепи СКУ совместно с бутовой полосой; 10, 11 – соответственно слабый и прочный слой пород почвы

В поддерживаемой выработке конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта  $m_3$  по мере продвижения проходческого забоя последовательно производится установка под верхняк основной крепи 1 (см. рис. 6) по центру вдоль выработки крепь усиления, выполнена из верхней 2 и нижней 4 частей стойки из отрезков металлического профиля, соединенных между собой замковым соединением 3. На почву выработки по центру, в заранее сооруженную канавку 5, укладывают отрезок металлического профиля продольно расположенного лежня 6 длиной равной ширине выработки, входящий внахлест с ранее уложенным отрезком лежня и жестко соединяют их между собой замковым соединением 7. На уложенный лежень 6 устанавливают крепь усиления, таким образом, чтобы нижняя часть стойки крепи усиления 4 входила в зацепление с лежнем 6 посредством жестко закрепленного на ней отрезка металлического профиля, и верхняя часть стойки крепи усиления 2 посредством жестко соединенного с ней отрезка металлического профиля входила в зацепление с верхняком основной крепи 1. Продольные лежни и крепь усиления демонтируются в зоне установившегося горного давления.

Одним из основных факторов, обеспечивающих выполнение цели эксперимента, является соблюдение количественных и качественных параметров способов охраны и крепления выработки, предусмотренных технологическими паспортами ведения очистных работ и крепления подготовительных выработок.

Методику разработали:  
доцент кафедры РМПИ  
ДонНТУ, канд. техн. наук

(подпись)

Г. И. Соловьёв

Аспирант кафедры РМПИ  
ДонНТУ, магистр

(подпись)

А.Л. Касьяненко





## Приложение П

Результаты шахтных исследований на экспериментальных участках конвейерного штрека 8-й западной лавы пласта  $m_3$  ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова» ГП «ДУЭК» с применением мероприятий шахтного и предлагаемого способа обеспечения устойчивости пород почвы

Таблица П.1.

Конвергенция пород кровли-почвы и величина нахлеста элементов крепи на замерных станциях экспериментального участка с шахтным вариантом мероприятий, м

$i$	Расстояние до лавы $L$ , м	Время $t$ , сут	З.С. № 1				З.С. № 2				З.С. № 3			
			$h_{1i}$	$h_{2i}$	$a_{1i}$	$a_{2i}$	$h_{1i}$	$h_{2i}$	$a_{1i}$	$a_{2i}$	$h_{1i}$	$h_{2i}$	$a_{1i}$	$a_{2i}$
1	-5,0	0	4,00	4,00	0,00	0,00	4,00	4,00	0,00	0,00	4,00	4,00	0,00	0,00
2	-2,5	2	3,90	3,97	0,19	0,10	3,87	3,98	0,19	0,10	3,90	3,99	0,19	0,10
3	2,0	6	3,77	3,76	0,27	0,19	3,70	3,77	0,27	0,19	3,75	3,78	0,27	0,19
4	7,0	10	3,45	3,33	0,35	0,27	3,30	3,41	0,35	0,28	3,42	3,49	0,36	0,28
5	13,5	15	2,94	2,90	0,41	0,34	2,63	3,06	0,42	0,36	2,87	3,20	0,42	0,36
6	18,5	19	2,75	2,65	0,48	0,42	2,38	2,84	0,49	0,44	2,66	3,01	0,51	0,45
7	23,5	23	2,65	2,44	0,56	0,50	2,24	2,65	0,58	0,53	2,54	2,83	0,60	0,54
8	26,5	25	2,39	2,29	0,64	0,59	1,91	2,51	0,66	0,62	2,27	2,70	0,68	0,63
9	31,5	29	2,27	2,06	0,73	0,68	1,76	2,30	0,75	0,71	2,14	2,53	0,78	0,73
10	35,5	32	2,16	1,89	0,82	0,77	1,64	2,16	0,85	0,81	2,04	2,39	0,88	0,83
11	39,5	35	2,02	1,74	0,91	0,87	1,46	2,03	0,95	0,92	1,89	2,27	0,97	0,93
12	43,5	38	1,98	1,63	1,02	0,98	1,43	1,92	1,05	1,02	1,85	2,17	1,08	1,04
13	49,5	43	1,96	1,57	1,12	1,08	1,40	1,85	1,16	1,13	1,83	2,09	1,19	1,15

Таблица П.2.

Смещения пород почвы по трем реперам на замерных станциях экспериментального участка с шахтным вариантом мероприятий, м

$i$	Расстояние до лавы $L$ , м	Время $t$ , сут	З.С. № 1			З.С. № 2			З.С. № 3		
			$U_{1i}^B$	$U_{2i}^B$	$U_{3i}^B$	$U_{1i}^B$	$U_{2i}^B$	$U_{3i}^B$	$U_{1i}^B$	$U_{2i}^B$	$U_{3i}^B$
1	-5,0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	-2,5	2	0,10	0,05	0,03	0,13	0,07	0,02	0,10	0,06	0,01
3	2,0	6	0,19	0,12	0,05	0,26	0,14	0,04	0,21	0,13	0,03
4	7,0	10	0,48	0,35	0,34	0,63	0,42	0,25	0,51	0,37	0,16
5	13,5	15	0,97	0,69	0,67	1,29	0,82	0,48	1,04	0,74	0,32
6	18,5	19	1,14	0,87	0,82	1,53	1,04	0,59	1,23	0,94	0,39
7	23,5	23	1,22	1,01	0,95	1,65	1,21	0,69	1,33	1,08	0,46
8	26,5	25	1,47	1,07	1,02	1,98	1,27	0,74	1,59	1,14	0,49
9	31,5	29	1,57	1,15	1,22	2,12	1,37	0,89	1,71	1,23	0,59
10	35,5	32	1,67	1,19	1,36	2,23	1,43	0,98	1,80	1,28	0,66
11	39,5	35	1,80	1,41	1,47	2,41	1,69	1,06	1,94	1,52	0,71
12	43,5	38	1,82	1,44	1,55	2,43	1,72	1,12	1,96	1,55	0,75
13	49,5	43	1,82	1,45	1,56	2,45	1,73	1,13	1,97	1,56	0,76

Таблица П.3.

Скорости смещения пород почвы по трем реперам на замерных станциях экспериментального участка с шахтным вариантом мероприятий, м/сут

Пройденное расстояние $\Delta L=L_i-L_{i-1}$ , м	$\Delta t=t_i-t_{i-1}$ сут	З.С. № 1			З.С. № 2			З.С. № 3		
		$V_{1i}^B$	$V_{2i}^B$	$V_{3i}^B$	$V_{1i}^B$	$V_{2i}^B$	$V_{3i}^B$	$V_{1i}^B$	$V_{2i}^B$	$V_{3i}^B$
2,5	2	0,050	0,025	0,015	0,065	0,035	0,010	0,050	0,030	0,005
4,5	4	0,023	0,018	0,005	0,033	0,018	0,005	0,028	0,018	0,005
5,0	4	0,073	0,058	0,073	0,093	0,070	0,053	0,075	0,060	0,033
6,5	5	0,098	0,068	0,066	0,132	0,080	0,046	0,106	0,074	0,032
5,0	4	0,043	0,045	0,038	0,060	0,055	0,028	0,048	0,050	0,018
5,0	4	0,020	0,035	0,032	0,030	0,043	0,025	0,025	0,035	0,018
3,0	2	0,125	0,030	0,035	0,165	0,030	0,025	0,130	0,030	0,015
5,0	4	0,025	0,020	0,050	0,035	0,025	0,038	0,030	0,023	0,025
4,0	3	0,033	0,013	0,047	0,037	0,020	0,030	0,030	0,017	0,023
4,0	3	0,043	0,073	0,037	0,060	0,087	0,027	0,047	0,080	0,017
4,0	3	0,007	0,010	0,027	0,007	0,010	0,020	0,007	0,010	0,013
6,0	5	0,000	0,002	0,002	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002

Таблица П.4.

Расчетная итоговая средняя величина смещений и скоростей смещений пород почвы по трем замерным станциям экспериментального участка с шахтным вариантом мероприятий

$i$	Расстояние до лавы $L$ , м	Время $t$ , сут	Пройденное расстояние $\Delta L=L_i-L_{i-1}$ , м	$\Delta t=t_i-t_{i-1}$ сут	Смещения почвы по трем реперам, м			Скорость смещений почвы по трем реперам, м/сут		
					$U_{1i}^B$	$U_{2i}^B$	$U_{3i}^B$	$V_{1i}^B$	$V_{2i}^B$	$V_{3i}^B$
1	-5,0	0	0	-	0,00	0,00	0,00	0,055	0,032	0,011
2	-2,5	2	2,5	2	0,11	0,06	0,02	0,030	0,018	0,006
3	2,0	6	4,5	4	0,22	0,13	0,04	0,082	0,063	0,053
4	7,0	10	5,0	4	0,54	0,38	0,25	0,108	0,073	0,046
5	13,5	15	6,5	5	1,10	0,75	0,49	0,050	0,050	0,028
6	18,5	19	5,0	4	1,30	0,95	0,60	0,025	0,038	0,025
7	23,5	23	5,0	4	1,40	1,10	0,70	0,118	0,025	0,021
8	26,5	25	3,0	2	1,68	1,16	0,75	0,030	0,023	0,038
9	31,5	29	5,0	4	1,80	1,25	0,90	0,031	0,016	0,032
10	35,5	32	4,0	3	1,90	1,30	1,00	0,047	0,076	0,026
11	39,5	35	4,0	3	2,05	1,54	1,08	0,005	0,008	0,017
12	43,5	38	4,0	3	2,07	1,57	1,14	0,003	0,003	0,002
13	49,5	43	6,0	5	2,08	1,58	1,15	0,055	0,032	0,011

Таблица П.5.

Конвергенция пород кровли-почвы и величина нахлеста элементов крепи на  
замерных станциях экспериментального участка с предлагаемым способом  
обеспечения устойчивости пород почвы, м

$i$	Расстояние до лавы $L$ , м	Время $t$ , сут	З.С. № 1				З.С. № 2				З.С. № 3			
			$h_{1i}$	$h_{2i}$	$a_{1i}$	$a_{2i}$	$h_{1i}$	$h_{2i}$	$a_{1i}$	$a_{2i}$	$h_{1i}$	$h_{2i}$	$a_{1i}$	$a_{2i}$
1	-5,0	0	4,00	4,00	0,00	0,00	4,00	4,00	0,00	0,00	4,00	4,00	0,00	0,00
2	-2,5	2	3,97	4,00	0,18	0,09	3,97	4,00	0,18	0,09	3,97	4,00	0,18	0,09
3	2,0	6	3,85	3,80	0,26	0,17	3,85	3,80	0,26	0,17	3,85	3,80	0,26	0,17
4	7,0	10	3,65	3,60	0,33	0,25	3,65	3,57	0,33	0,25	3,65	3,57	0,33	0,25
5	13,5	15	3,38	3,30	0,41	0,33	3,38	3,24	0,41	0,33	3,38	3,24	0,41	0,33
6	18,5	19	3,22	3,09	0,48	0,41	3,22	3,03	0,48	0,41	3,22	3,03	0,48	0,41
7	23,5	23	3,07	2,93	0,57	0,50	3,07	2,86	0,56	0,49	3,07	2,87	0,56	0,49
8	26,5	25	2,98	2,78	0,65	0,58	2,98	2,70	0,64	0,57	2,98	2,71	0,64	0,57
9	31,5	29	2,89	2,65	0,73	0,67	2,89	2,55	0,72	0,66	2,89	2,56	0,71	0,65
10	35,5	32	2,81	2,54	0,82	0,76	2,81	2,44	0,80	0,74	2,81	2,45	0,79	0,73
11	39,5	35	2,72	2,43	0,91	0,85	2,72	2,34	0,88	0,82	2,72	2,34	0,87	0,81
12	43,5	38	2,64	2,33	1,00	0,94	2,64	2,24	0,97	0,91	2,64	2,25	0,96	0,90
13	49,5	43	2,54	2,25	1,09	1,03	2,56	2,16	1,06	1,00	2,55	2,17	1,05	0,99

Таблица П.6.

Смещения пород почвы по трем реперам на замерных станциях  
экспериментального участка с предлагаемым способом  
обеспечения устойчивости пород почвы, м

$i$	Расстояние до лавы $L$ , м	Время $t$ , сут	З.С. № 1			З.С. № 2			З.С. № 3		
			$U_{1i}^M$	$U_{2i}^M$	$U_{3i}^M$	$U_{1i}^M$	$U_{2i}^M$	$U_{3i}^M$	$U_{1i}^M$	$U_{2i}^M$	$U_{3i}^M$
1	-5,0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	-2,5	2	0,03	0,02	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00
3	2,0	6	0,14	0,06	0,01	0,13	0,06	0,01	0,11	0,06	0,01
4	7,0	10	0,38	0,19	0,04	0,18	0,16	0,07	0,28	0,16	0,07
5	13,5	15	0,42	0,40	0,21	0,52	0,32	0,27	0,42	0,33	0,27
6	18,5	19	0,62	0,53	0,29	0,68	0,45	0,37	0,65	0,46	0,36
7	23,5	23	0,72	0,65	0,34	0,80	0,54	0,42	0,78	0,55	0,41
8	26,5	25	0,81	0,73	0,38	0,84	0,60	0,49	0,88	0,62	0,48
9	31,5	29	0,95	0,88	0,42	0,88	0,72	0,56	0,91	0,74	0,55
10	35,5	32	1,00	0,94	0,44	0,97	0,78	0,58	1,00	0,80	0,57
11	39,5	35	1,05	0,98	0,47	1,04	0,82	0,61	1,10	0,84	0,60
12	43,5	38	1,12	1,02	0,50	1,10	0,84	0,64	1,15	0,87	0,63
13	49,5	43	1,18	1,05	0,51	1,12	0,86	0,65	1,20	0,88	0,64

Таблица П.7.

Скорости смещения пород почвы по трем реперам на замерных станциях экспериментального участка с предлагаемым способом обеспечения устойчивости пород почвы, м/сут

Пройденное расстояние $\Delta L=L_i-L_{i-1}$ , м	$\Delta t=t_i-t_{i-1}$ сут	З.С. № 1			З.С. № 2			З.С. № 3		
		$V_{1i}^M$	$V_{2i}^M$	$V_{3i}^M$	$V_{1i}^M$	$V_{2i}^M$	$V_{3i}^M$	$V_{1i}^M$	$V_{2i}^M$	$V_{3i}^M$
2,5	2	0,015	0,010	0,000	0,015	0,010	0,000	0,015	0,010	0,000
4,5	4	0,020	0,010	0,003	0,020	0,010	0,003	0,020	0,010	0,003
5,0	4	0,043	0,033	0,008	0,043	0,025	0,015	0,043	0,025	0,015
6,5	5	0,048	0,042	0,034	0,048	0,032	0,040	0,048	0,034	0,040
5,0	4	0,033	0,033	0,020	0,033	0,033	0,025	0,033	0,033	0,023
5,0	4	0,032	0,030	0,013	0,033	0,023	0,013	0,033	0,023	0,013
3,0	2	0,030	0,040	0,020	0,030	0,030	0,035	0,030	0,035	0,035
5,0	4	0,017	0,038	0,010	0,018	0,030	0,018	0,018	0,030	0,018
4,0	3	0,020	0,020	0,007	0,020	0,020	0,007	0,020	0,020	0,007
4,0	3	0,023	0,013	0,010	0,023	0,013	0,010	0,023	0,013	0,010
4,0	3	0,020	0,013	0,010	0,020	0,007	0,010	0,020	0,010	0,010
6,0	5	0,016	0,006	0,002	0,012	0,004	0,002	0,014	0,002	0,002

Таблица П.8.

Расчетная итоговая средняя величина смещений и скоростей смещений пород почвы по трем замерным станциям экспериментального участка с предлагаемым способом обеспечения устойчивости пород почвы

$i$	Расстояние до лавы $L$ , м	Время $t$ , сут	Пройденное расстояние $\Delta L=L_i-L_{i-1}$ , м	$\Delta t=t_i-t_{i-1}$ сут	Смещения почвы по трем реперам, м			Скорость смещений почвы по трем реперам, м/сут		
					$U_{1i}^M$	$U_{2i}^M$	$U_{3i}^M$	$V_{1i}^M$	$V_{2i}^M$	$V_{3i}^M$
1	-5,0	0	0	-	0,00	0,00	0,00	0,016	0,009	0,002
2	-2,5	2	2,5	2	0,03	0,02	0,00	0,023	0,013	0,003
3	2,0	6	4,5	4	0,11	0,06	0,01	0,043	0,026	0,013
4	7,0	10	5,0	4	0,28	0,17	0,06	0,046	0,034	0,037
5	13,5	15	6,5	5	0,52	0,35	0,25	0,033	0,033	0,021
6	18,5	19	5,0	4	0,65	0,48	0,34	0,033	0,027	0,014
7	23,5	23	5,0	4	0,78	0,58	0,39	0,027	0,027	0,024
8	26,5	25	3,0	2	0,84	0,65	0,45	0,016	0,033	0,014
9	31,5	29	5,0	4	0,91	0,78	0,51	0,020	0,020	0,009
10	35,5	32	4,0	3	0,97	0,84	0,53	0,020	0,010	0,009
11	39,5	35	4,0	3	1,04	0,88	0,56	0,020	0,010	0,009
12	43,5	38	4,0	3	1,10	0,91	0,59	0,014	0,004	0,001
13	49,5	43	6,0	5	1,17	0,93	0,60	0,016	0,009	0,002

## Приложение Р

Акт и протокол шахтных испытаний способа обеспечения устойчивости пород почвы в условиях ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова» ГП «ДУЭК»

ГП «Донецкая угольная  
энергетическая компания»

УТВЕРЖДАЮ: *Копия*

Директор  
ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова»  
А. В. Волков

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2011 г.

**АКТ**

**шахтных испытаний способа обеспечения устойчивости пород почвы  
горной выработки упорно-лежневой крепью усиления согласно  
рекомендациям разработанных сотрудниками горного факультета  
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»**

г. Донецк

22 июля 2011 г.

**КОМИССИЯ В СОСТАВЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ:****от ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова»:**

Ястремский Р.А. – главный инженер, председатель комиссии  
Шевченко И.А. – главный технолог  
Удовенко Л.Л. – главный маркшейдер  
Навольнева В.Я. – главный геолог  
Радченко С.В. – начальник участка №1

**от горного факультета ГВУЗ «ДонНТУ»:**

Подкопаев С.В. – декан горного факультета ДонНТУ, докт. техн. наук  
Соловьёв Г.И. – доцент каф. РМПИ ДонНТУ, канд. техн. наук  
Малышева Н.Н. – ассистент каф. РМПИ ДонНТУ  
Нефёдов В.Е. – ассистент каф. РМПИ ДонНТУ  
Касьяненко А.Л. – аспирант каф. РМПИ ДонНТУ

провела шахтные испытания способа обеспечения устойчивости пород почвы горной выработки в конвейерном штреке 8-й западной лавы пл. т<sub>3</sub> с использованием упорно-лежневой крепи усиления согласно рекомендациям, разработанных сотрудниками горного факультета и утвержденными проректором по научной работе ГВУЗ «ДонНТУ» и техническим директором ГП «Донецкая угольная энергетическая компания».

Выработка проводилась по пласту  $m_3$  мощностью 0,91 м углом падения  $9^\circ$ , глубиной разработки 860 м по с опережением очистного забоя на 5,0 м буровзрывным способом. Непосредственная кровля пласта представлена аргиллитом мощностью 7,0-10,3 м и прочностью на одноосное сжатие 20-40 МПа, а основная – песчаником прочностью на одноосное сжатие 40-60 МПа и мощностью 4,5-6,6 м. В непосредственной почве пласта залегает алевролит мощностью 1,2-1,6 м и прочностью – 40-60 МПа. Ниже по наслоению залегает плотный известняк  $M_3$ , прочностью 100-120 МПа и мощностью – 0,2-0,4 м. Верхний слой алевролита склонен к пучению вследствие разлома известняка основной почвы.

На контрольном участке длиной 40 м (ПК12-ПК14) с начала проведение выработки происходило значительное уменьшение площади поперечно сечения выработки, преимущественно за счет смещений пород почвы. Наблюдалось неравномерное выдавливание пород почвы на величину 0,4-2,1 м в полость выработки, что требовало периодических подрывок.

Для уменьшения величины смещений пород почвы, согласно предложенным рекомендациям на экспериментальном участке (с ПК16+4,8 м по ПК17+5,2 м) под каждой рамой основной крепи устанавливалась упорно-лежневая крепь усиления, контактирующая непосредственно с прочным слоем известняка  $M_3$ . За период с 20 января 2011 г. по 19 июля 2011 г. велось постоянное маркшейдерское наблюдение за смещениями контура выработки согласно предложенной методике сотрудниками ДонНТУ.

По состоянию на 19 июля 2011 года реализация предлагаемого способа показала, что величина суммарных смещений пород почвы выработки за наблюдаемый период на экспериментальном участке была снижена в среднем на 0,2-1,1 м без проведения подрывок, что позволило уменьшить смещения пород почвы в 2 раза.

## ВЫВОДЫ КОМИССИИ

1. Применение разработанного способа обеспечения устойчивости пород почвы с использованием упорно-лежневой крепи усиления позволили обеспечить устойчивость горной выработки и уменьшить величину выдавливания пород почвы.

2. Эффективность от применения упорно-лежневая крепь усиления достигается при строгом соблюдении рекомендуемых параметров.

3. Комиссия считает, что применение способа обеспечения устойчивости пород почвы горной выработки с использованием упорно-лежневой крепи усиления выдержала шахтные испытания и рекомендует:

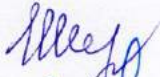
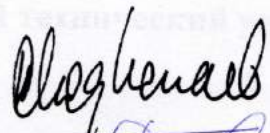
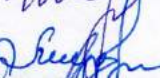


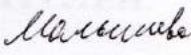



- внедрить способ обеспечения устойчивости пород почвы для поддержания горных выработок с породами почвы, склонными к выдавливанию;
- провести доработку технологии установки упорно-лежневой усиливающей крепи и корректировку конструкторской документации в соответствии с протоколом шахтных испытаний от 22 июля 2011 года.

Председатель комиссии:



Р.А. Ястремский

Члены комиссии:

	И.А.Шевченко		С.В. Подкопаев
	Л.Л. Удовенко		Г.И. Соловьёв
	В.Я. Навольнева		Н.Н. Малышева
	С.В. Радченко		В.Е. Нефёдов
			А.Л. Касьяненко



ГП «Донецкая угольная  
энергетическая компания»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор  
ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова»

А. В. Волков

«    »    2011 г.



### ПРОТОКОЛ

**шахтных испытаний способа обеспечения устойчивости пород почвы  
горной выработки упорно-лежневой крепью усиления согласно  
рекомендациям разработанных сотрудниками горного факультета  
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»**

г. Донецк

22 июля 2011 г.

### КОМИССИЯ В СОСТАВЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ:

#### от ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова»:

Ястремский Р.А. – главный инженер, председатель комиссии  
Шевченко И.А. – главный технолог  
Удовенко Л.Л. – главный маркшейдер  
Навольнева В.Я. – главный геолог  
Радченко С.В. – начальник участка №1

#### от горного факультета ГВУЗ «ДонНТУ»:

Подкопаев С.В. – декан горного факультета ДонНТУ, докт. техн. наук  
Соловьёв Г.И. – доцент каф. РМПИ ДонНТУ, канд. техн. наук  
Малышева Н.Н. – ассистент каф. РМПИ ДонНТУ  
Нефёдов В.Е. – ассистент каф. РМПИ ДонНТУ  
Касьяненко А.Л. – аспирант каф. РМПИ ДонНТУ

Комиссия в соответствии с рекомендациями по варианту заложения западного полевого конвейерного штрека и охране 8-го западного конвейерного штрека пласта  $m_3$  утвержденные проректором по научной работе ГВУЗ «ДонНТУ» и техническим директором ГП «Донецкая угольная энергетическая компания» провела шахтные испытания способа обеспечения устойчивости пород почвы

горной выработки в конвейерном штреке 8-й западной лавы пл. т<sub>3</sub> с использованием упорно-лежневой крепи усиления на экспериментальном участке длиной 20 м с ПК16+4,8 м по ПК17+5,2 м и установила следующее:

## 1 ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И НАМЕЧЕННАЯ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ. ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ И МЕСТА ИСПЫТАНИЙ

### 1.1 Назначение и проектная область применения способа

Способ обеспечения устойчивости пород почвы, с помощью упорно-лежневой крепи усиления рекомендуется применять в выработках породами почвы при наличии в их текстуре прочных слоев.

### 1.2 Описание технологии крепления почвы выработки предлагаемым способом

#### 1.2.1 Конструкция упорно-лежневой усиливающей крепи

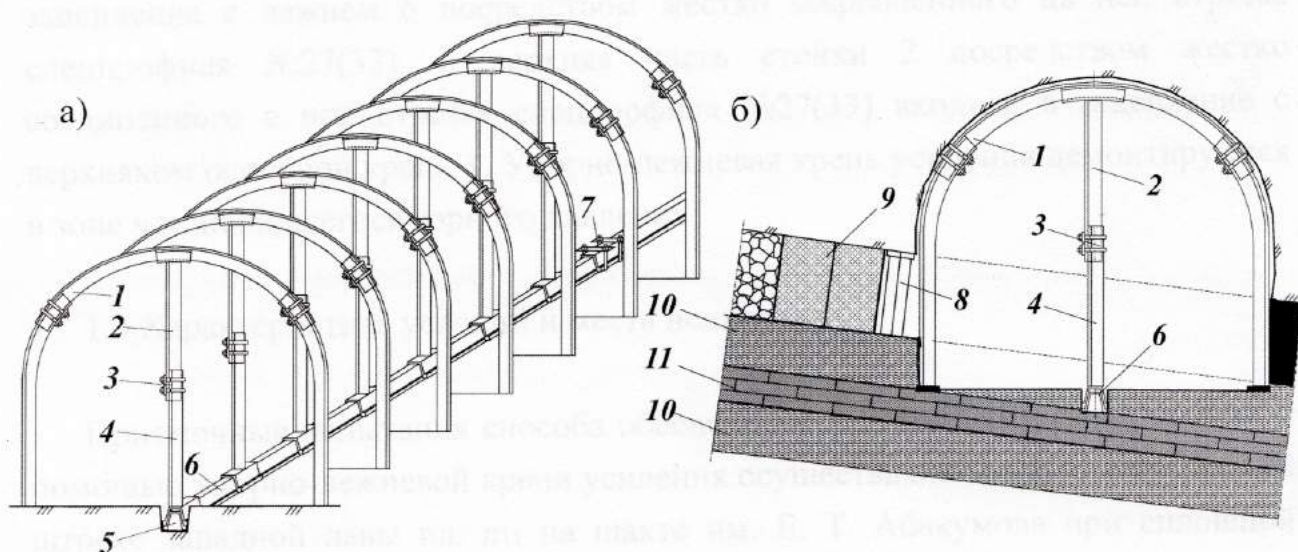


Рисунок 1 – Конструкция упорно-лежневой крепи усиления по длине выработки (а) и в поперечном сечении штрека (б)

Сущность изобретения поясняется чертежом, на котором представлен общий вид основной крепи с упорно-лежневой крепью усиления, где: 1 - крепь выработки; 2 – верхняя часть стойки крепи усиления; 3 – замок крепи усиления; 4 – нижняя часть стойки крепи усиления; 5 – продольная канавка; 6 – продольный лежень в канавке; 7 – замок для соединения отрезков продольного лежня; 8 – деревянные стойки; 9 – жесткое охранный сооружение; 10, 11 – соответственно слабый и прочный слои пород почвы.

### 1.2.2 Технология создания системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи» упорно-лежневой крепью усиления

По мере подвигания забоя в поддерживаемой выработке в зоне повышенного горного давления под верхняк основной крепи 1 последовательно устанавливаются по центру вдоль выработки упорно-лежневую усиливающую крепь, выполненной из верхней 2 и нижней 4 частей стойки из отрезков спецпрофиля №27(33), соединенных между собой замковым соединением 3. На почву выработки по центру, в заранее сооруженную канавку 5, укладывают отрезок спецпрофиля №27(33) продольно расположенного лежня 6 длиной 4,5 м, входящий внахлест на 0,5 м с ранее уложенным отрезком лежня и жестко соединяют их между собой замковым соединением 7. На уложенный лежень 6 устанавливают стойку, таким образом, чтобы нижняя часть стойки 4 входила в зацепление с лежнем 6 посредством жестко закрепленного на ней отрезка спецпрофиля №27(33), и верхняя часть стойки 2 посредством жестко соединенного с ней отрезка спецпрофиля №27(33) входила в зацепление с верхняком основной крепи 1. Упорно-лежневая крепь усиления демонтируются в зоне установившегося горного давления.

### 1.3 Характеристика условий и места испытания

Приемочные испытания способа обеспечения устойчивости пород почвы, с помощью упорно-лежневой крепи усиления осуществлялись в 8-м конвейерном штреке западной лавы пл.  $m_3$  на шахте им. Е. Т. Абакумова при сплошной системе разработке на глубине 860 м.

Основная кровля представлена песчаником прочностью на одноосное сжатие 55 МПа и мощностью 4,5-6,6 м. Средняя мощность пласта  $m_3$  – 0,98 м.

В непосредственной почве пласта находится алевролит мощностью 1,2-1,6 м и прочностью – 40-60 МПа.

Ниже по наслоению залегает плотный известняк М<sub>3</sub>, прочностью 100-120 МПа и мощностью – 0,2-0,4 м. Верхний слой алевролита склонен к пучению вследствие разлома известняка основной почвы.

Высота выработки при проведении составила 3,79 м, ширина – 5,1 м, сечение в свету – 14,1 м<sup>2</sup>. В качестве основной крепи применялась овоидная крепь КМП-АЗР2/14,1 с податливостью 700 мм.

С начала эксплуатации штрека под действием повышенного горного давления от действующей лавы и вследствие горно-геологических условий залегания, происходит значительное уменьшение площади поперечно сечения выработки, преимущественно за счет выдавливания пород почвы. Так на участке ПК2+10 м - ПК6 (70 м) высота выработки составляет 1,7-2,2 м, ширина 2,7-2,9 м, сечение в свету - 3,9-5,6 м<sup>2</sup>. На участке ПК8+10 м - ПК12+10 м (80 м) высота выработки составляет 1,2-1,8 м, ширина - 2,4-2,8 м, сечение - 2,5-4,3 м<sup>2</sup>. При этом по всей длине конвейерного штрека ПК0 - ПК14 (280 м) наблюдалось неравномерное выдавливание пород почвы на величину 0,4-2,1 м почвы выработки, что требовало периодических подрывок пород почвы.

## 2 ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПРЕДЛОЖЕННОГО СПОСОБА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

### 2.1 Ход испытаний

Установка упорно-лежневой крепи усиления на экспериментальном участке выработки была начата 25 декабря 2010 г. и заключалась в следующем:

- подготовка канавки;
- укладка лежней в канавку и их соединение между собой;
- создание предварительного распора стойкой;
- соединение элементов конструкции с основной крепью.

Работы проводились бригадой рабочих, состоящей из 3-х человек. В течение 4 дней на участке выработки длиной 40 м (экспериментальный участок) была произведена установка 3-х продольных лежней. На контрольном и экспериментальном участках были подготовлены контурные замерные станции. Данные работы проводились при авторском надзоре сотрудниками Горного факультета ДонНТУ.

## 2.2 Результаты измерений

Измерения производились по контурным замерным станциям согласно предложенной методике и производилось постоянное маркшейдерское наблюдение за смещениями контура выработки.

На контрольном участке после отхода лавы в начале была отмечена интенсификация смещений пород почвы в среднем на величину 1,34 м, с последующим спадом, скорость смещений в зоне повышенного горного давления составила 0,5-0,8 м/мес. Через 25 сут в связи с технологической необходимостью была произведена подрывка на величину 0,7 м, а за срок проведения эксперимента всего производилась три подрывки буровзрывным способом и перекрепление выработки, скорость смещений в зоне установившегося горного давления составила 0,13-0,15 м/мес. Таким образом, суммарные смещения пород почвы выработки через 180 сут с учетом подрывок на контрольном участке составили 2,4 м.

На экспериментальном участке наблюдалась также интенсификация после отхода лавы, но с незначительными смещениями пород почвы на первоначальном участке 0,54 м, скорость в зоне повышенного горного давления составила 0,44 м/мес., а в зоне установившегося горного давления составила – 0,08 м/мес. Это позволило отодвинуть срок проведения подрывки на 50 сут. Величина поднятия почвы выработки через 6 мес. составила в среднем 1,19 м.

В целом, на экспериментальном участке смещения пород почвы на сопряжении с лавой составили 0,2-0,6 м, а на расстоянии 15 м за лавой – 0,4-0,7 м, что в 1,7-2,5 раза ниже, чем на контрольном участке. На расстоянии 45 м вслед за лавой величина смещений почвы составила 0,7-1,1 м, что в 1,9-2,2 раза ниже, чем на контрольном участке.

В процессе приемочных испытаний выявлены эксплуатационные и конструктивные недостатки, отмеченные в разделе 3.

## 2.3 Рекомендации

На основании шахтных испытаний предлагаемого способа подтверждена эффективность его применения для обеспечения устойчивости пород почвы конвейерного штрека за счет создания системы «прочный слой – крепь усиления – рама основной крепи».

Рекомендовать способ для внедрения в подготовительных выработках с разнопрочными породами почвы склонными к пучению. Элементы лежней могут быть изготовлены из отрезков профиля СВП-27(33).

Сотрудникам Горного факультета ДонНТУ провести доработку технологии и корректировку инструкторской документации, устранив при этом недостатки, изложенные в разделе 3 настоящего протокола.

### 3 ВЫЯВЛЕННЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ НЕДОСТАТКИ

На экспериментальном участке были зафиксированы смещения стоек упорно-лежневой крепи усиления, за счет не устойчивого зацепления их с лежнем, вызванного отклонением лежня, за счет неубранных разрушенных пород выработки.

### 4 ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании испытания предложенного способа обеспечения устойчивости пород почвы с помощью упорно-лежневой крепи усиления, комиссия пришла к следующим выводам:

1. Использование предложенного способа в условиях шахты имени Е. Т. Абакумова позволили в 2 раза и более уменьшить смещения пород почвы, тем самым снизить материальные и трудовые затраты на её поддирку.

2. Выхода из строя упорно-лежневой крепи усиления на экспериментальном участке не наблюдалось.

3. На шахте им. Е. Т. Абакумова в конвейерном штреке 8-й западной лавы пласта  $m_3$  осуществить крепление почвы выработки упорно-лежневой крепью усиления по мере подвигания забоя в поддерживаемой выработке в зоне повышенного горного давления и демонтировать в зоне установившегося горного давления.

4. Приемочные испытания способа обеспечения устойчивости пород почвы, с помощью упорно-лежневой крепи усиления считать законченными.

6. Сотрудникам горного факультета ДонНТУ продолжить оказание технической помощи шахте и продолжить наблюдения за смещениями пород в пределах контрольного и экспериментального участков.


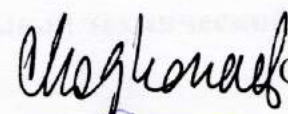



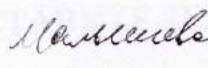



5. Рекомендовать прошедший проверку способ обеспечения устойчивости пород почвы горной выработки с использованием упорно-лежневой крепи усиления для внедрения в подготовительных выработках с породами почвы, склонными к выдавливанию.

Председатель комиссии:



Р.А. Ястремский

Члены комиссии:

	И.А. Шевченко		С.В. Подкопаев
	Л.Л. Удовенко		Г.И. Соловьёв
	В.Я. Навольнева		Н.Н. Малышева
	С.В. Радченко		В.Е. Нефёдов
			А.Л. Касьяненко

## Приложение С

Расчет экономической эффективности и акт внедрения научно-технического мероприятия в условиях ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова» ГП «ДУЭК» ГП «Донецкая угольная энергетическая компания»

УТВЕРЖДАЮ: *Копия*



## РАСЧЕТ

**экономической эффективности от внедрения способа обеспечения устойчивости пород почвы горной выработки упорно-лежневой крепью усиления в условиях ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова» ГП «Донецкая угольная энергетическая компания»**

г. Донецк

22 июля 2011 г.

С целью уменьшения величины выдавливания пород почвы в горных выработках, на шахте им. Е.Т. Абакумова, проводилось внедрение способа обеспечения устойчивости пород почвы горной выработки упорно-лежневой крепью усиления в конвейерном штреке 8-й западной лавы пл. т<sub>3</sub>.

Экономический эффект от внедрения предложенного способа достигнут путем снижения затрат на подрывку пород почвы в конвейерном штреке, поддерживаемого в зоне повышенного горного давления, за счет уменьшения величины выдавливания пород почвы в пределах экспериментального участка с ПК16+4,8 м по ПК17+5,2 м.

Расчет выполнен путем сравнения статей эксплуатационных затрат по ремонту выработки на контрольном участке (ПК12-ПК14) и затрат на материалы и оплату труда на экспериментальном участке с применением способа обеспечения устойчивости пород почвы горной выработки с упорно-лежневой крепью усиления за период 20 января 2011 г. по 19 июля 2011 г.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения новой техники и технологии за расчетный период рассчитывается по следующей формуле:

$$Э_{ит} = (Z_{баз} - Z_{нов}) \times N_{нов}, \text{ грн.}$$

где  $Z_{баз}$ ,  $Z_{нов}$  - стоимостная оценка эксплуатационных затрат на единицу продукции соответственно для базового и нового вариантов техники и технологии за расчетный период, грн.;

$N_{нов}$  - объем производства продукции с помощью новой техники и технологии за расчетный период, ед.



1.1 Затраты на подрывку пород почвы на контрольном участке за период проведения эксперимента

$$Z_{под} = T_c \times V_{под}$$

где  $T_c$  – затраты на подрывку 1 м<sup>3</sup> пород почвы по данным расчетов расценок и комплексной нормы выработки, для условий шахты им. Е. Т. Абакумова составляет  $T_c=136,79$  грн./м<sup>3</sup>;

$V_{под}$  – объём извлекаемой породы с почвы выработки на контрольном участке, м<sup>3</sup>;

$$V_{под} = \Sigma H_{под} \times B_в \times L_{уч}, \text{ м}^3,$$

где  $B_в$  – ширина выработки в свету, м;

$\Sigma H_{под}$  – суммарная величина подрывки пород почвы выработки на контрольном участке за период проведения эксперимента, м;

$L_{уч}$  – длина участка, м;

$$V_{под} = 2,0 \times 5,13 \times 20 = 205,2 \text{ м}^3$$

$$Z_{под} = 136,79 \times 205,2 = 28069,3 \text{ грн.}$$

1.2 Затраты на перекрепление выработки на контрольном участке за период проведения эксперимента

За период проведения эксперимента на контрольном участке выработка перекреплялась один раз.

Согласно данным шахты им. Е. Т. Абакумова, стоимость проведения 1 п.м конвейерного штрека 8-ой западной лавы пл. т<sub>3</sub> составляет 7500 грн., а стоимость перекрепления 80% от стоимости проведения выработки.

Таким образом, затраты на перекрепление выработки на контрольном участке составят:

$$Z_{пер} = 0,8 \times (20 \times 7500) = 120000 \text{ грн.}$$

1.3 Эксплуатационные затраты базового варианта на 1 п.м. за период проведения эксперимента:

$$Z_{баз} = (120000 + 28069,3) / 20 = 7403,5 \text{ грн./п.м.}$$

## 2 Новый вариант

2.1 Затраты на подрывку пород почвы на экспериментальном участке за период проведения эксперимента

$$Z'_{под} = T_c \times V'_{пор}$$

где  $V'_{пор}$  – объём извлекаемой породы с почвы выработки на экспериментальном участке, м<sup>3</sup>;

$$V'_{пор} = \Sigma H'_{под} \times B_6 \times L_{уч}, \text{ м}^3,$$

где  $\Sigma H'_{под}$  – суммарная величина подрывки пород почвы выработки на экспериментальном участке за период проведения эксперимента, м;

$$V'_{пор} = 1,0 \times 5,13 \times 20 = 102,6 \text{ м}^3$$

$$Z'_{под} = 136,79 \times 102,6 = 14034,7 \text{ грн.}$$

2.2 Затраты на перекрепление выработки на экспериментальном участке за период проведения эксперимента

Перекрепление выработки в этом варианте не производилось.

2.3 Затраты на материалы при применении способа обеспечения устойчивости пород почвы упорно-лежневой крепью усиления

Для изготовления конструкции упорно-лежневой крепи усиления применялся спецпрофиль СВП-33 из отрезков по 4,5 м для лежней в количестве 5 штук на длину экспериментального участка соединённых между собой двумя замками (всего 8 штук), и ремонтины состоящей из двух частей отрезков спецпрофиля СВП-33 по 2,5 м соединённых между собой тремя замками (всего 120 штук) и устанавливаемых под каждую раму основной крепи в количестве 80 штук, а также учет 10% стоимости на изготовление сварной конструкции верхней и нижней частей ремонтин.

Таким образом затраты на материалы составят:

$$Z_m = 1,1 \times [(4,5 \times 5 + 80 \times 2,5) \times 33,39 \times 7,5 + (8 + 120) \times 34,55] = 66156,2 \text{ грн.}$$

где 33,39 – масса 1 м спецпрофиля СВП-33, кг/м;

7,5 – цена за 1 кг спецпрофиля СВП-33, грн./кг;

34,55 – цена замка 24 в сборе на СВП-33, грн./шт.;

#### 2.4 Затраты на оплату труда при применении способа обеспечения устойчивости пород почвы упорно-лежневой крепью усиления

	Норма выработки			Объем работ на 1 м	Кол-во чел-см на 1 м	Тарифная ставка, грн.	Расценка за 1 м, грн	Основание для установлен. нормы выработок
	по ЕНВ	«К» по ЕНВ	установлен.					
Извлечения породы в твердом теле, м <sup>3</sup>	3,54	-	3,54	0,08	0,023	150,72	3,4	Табл.25.5б*
Уборка породы вручную на конвейер, м <sup>3</sup>	7,39	-	7,39	0,128	0,017	133,98	2,3	Табл.26.3
Установка ремонтин под верхняк, шт.	12,25	-	12,25	2	0,163	150,72	24,6	Табл.22.7г
Вытягивание стоек, шт.	6,03	0,9**	5,43	2	0,369	150,72	55,5	Табл.11.6в
На единицу работы (комплексная), м			1,75		0,572		85,8	

\* - Сдині норми виробітку на ремонт гірничих виробок вугільних шахт, К., 2011. - 226 с.

\*\* - При углублении стоек в почву на 0,51-0,7 м принимают К=0,9.

Таким образом затраты на оплату труда на экспериментальном участке за период проведения эксперимента составят:

$$Z_{o.m} = 1,1 \times 85,8 \times 20 = 1889,3 \text{ грн.}$$

где 1,1 – учет осложнений связанных с некачественным выполнением работ, и осложнением горно-геологических условий;

#### 2.5 Затраты на внедрение нового варианта за период проведения эксперимента:

$$Z_6 = Z_m + Z_{o.m} = 66156,2 + 1889,3 = 68045,5 \text{ грн.}$$

Эксплуатационные затраты нового варианта на 1 п.м.:

$$Z_{нов} = (Z'_{под} + Z_6) / 20 = (14034,7 + 68045,5) / 20 = 4104 \text{ грн./п.м}$$

## 3 Сводные эксплуатационные затраты на контрольном и экспериментальном участке за период проведения эксперимента

№ п/п	Затраты	Единицы измерения	Базовый вариант	Новый вариант	Разница
1	Затраты на подрывку пород почвы, $Z_{под}$	грн./п.м	1403,40	701,70	+701,70
2	Затраты на перекрепление выработки, $Z_{пер}$	грн./п.м	6000,00	-	+6000,00
3	Затраты на внедрение, $Z_в$	грн./п.м	-	3402,30	-3402,30
	ВСЕГО затрат:	грн./п.м	7403,40	4104,00	+3299,40

Ожидаемый экономический эффект от внедрения способа обеспечения устойчивости пород почвы горной выработки упорно-лежневой крепью усиления на шахте им. Е.Т. Абакумова в конвейерном штреке 8-й западной лавы пл. т<sub>3</sub> (на экспериментальном участке с ПК16+4,8 м по ПК17+5,2 м) за расчетный период с 20 января 2011 г. по 19 июля 2011 г. составит:

$$Э_{ит} = (7403,4 - 4104,0) \times 20 = 65988,00 \text{ грн.}$$

Начальник планово-экономического отдела



Михайленко С.А.

Главный бухгалтер



Удодова Л.М.

Начальник участка №1

Радченко С.В.

ГП «Донецкая угольная  
энергетическая компания»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор  
ОП «Шахта им. Е.Т. Абакумова»

А. В. Волков

«    »      2011 г.

### АКТ ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕРОПРИЯТИЯ

Наименование мероприятия способ обеспечения устойчивости пород почвы горной выработки упорно-лежневой крепью усиления, параметры которой были определены согласно рекомендациям разработанных сотрудниками горного факультета ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Наименование объекта, на котором внедрено мероприятие конвейерный штрек 8-ой западной лавы пл. м<sub>3</sub>

Краткое описание и преимущество внедренного мероприятия способ обеспечения устойчивости пород почвы горной выработки применяется с целью уменьшения величины выдавливания пород почвы в зоне повышенного горного давления

Дата внедрения с 20.01.2011 г. по 19.07.2011 г.

Основные показатели, характеризующие результаты внедрения мероприятия

Наименование показателей	№ строки	Един. изм.	Значения показателей
Выпуск продукции	01	грн.	–
Число условно высвобожденных рабочих	02	чел.	–
Прирост прибыли (+) Уменьшение прибыли (-)	03	грн.	–
Прибыль (+) Убыток (-)	04	грн.	–
Экономия от снижения себестоимости продукции (+), удорожание от повышения себестоимости продукции (-)	05	грн.	+3299,40
Экономический эффект	06	грн.	3299,40
Затраты на внедрение	07	грн.	68045,50
Ожидаемый экономический эффект		грн.	65988,00

Начальник планово-  
экономического отдела

Михайленко С.А.

Главный бухгалтер

Удодова Л.М.

Начальник участка №1

Радченко С.В.

