



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
РАЗДЕЛ 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	10
1.1 Основные гипотезы объясняющие деформирование горных выработок .....	10
1.2 Анализ способов охраны выработок, примыкающих к очистному забою .....	17
1.3 Цель и задачи исследований .....	25
РАЗДЕЛ 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ОХРАННОГО СООРУЖЕНИЯ НА МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА ВОКРУГ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ .....	26
2.1 Методика исследований .....	26
2.2 Результаты моделирования .....	35
2.3 Выводы .....	43
РАЗДЕЛ 3 ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОХРАННОГО СООРУЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АКТИВНОГО РАСПОРА РАЗРУШЕННЫХ ПОРОД, ЗАКЛЮЧЁННЫХ В ОПАЛУБКУ .....	44
3.1 Постановка задачи. Методика исследований .....	44
3.2 Результаты проверки .....	54
3.3 Регрессионный анализ .....	57
3.4 Выводы .....	58
РАЗДЕЛ 4 ШАХТНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОЯВЛЕНИЕМ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА СОПРЯЖЕНИИ ЛАВЫ С КОНВЕЙЕРНЫМ ШТРЕКОМ .....	60
4.1 Постановка задачи .....	60
4.2 Методика исследований и результаты шахтных наблюдений .....	61
4.3 Результаты обработки замеров .....	64
4.4 Выводы .....	68
РАЗДЕЛ 5 ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА ВОКРУГ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ .....	71
5.1 Сравнение результатов численного моделирования и моделирования с помощью эквивалентных материалов .....	71
5.1.1 Построение модели, приложение нагрузок и получение решения .....	71

5.1.2 Результаты моделирования .....	76
5.2 Численное моделирование механизма разрушения массива вокруг подготовительной выработки, прилегающей к лаве, в условиях шахты «Рассвет-1» .....	86
5.2.1 Построение модели, приложение нагрузок и получение решения .....	86
5.2.2 Результаты моделирования .....	94
5.3 Численное моделирование механизма разрушения массива вокруг подготовительной выработки, прилегающей к лаве, в условиях шахты «Щегловская-Глубокая» .....	111
5.3.1 Построение модели, приложение нагрузок и получение решения .....	111
5.3.2 Результаты моделирования .....	118
5.4 Выводы .....	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	124
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....	126
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	129
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	157
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	158
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	159
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	162
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	163
ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	166
ПРИЛОЖЕНИЕ Е .....	169
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж .....	170
ПРИЛОЖЕНИЕ И .....	177
ПРИЛОЖЕНИЕ К .....	178
ПРИЛОЖЕНИЕ Л .....	180
ПРИЛОЖЕНИЕ М .....	183
ПРИЛОЖЕНИЕ Н .....	192
ПРИЛОЖЕНИЕ П .....	199
ПРИЛОЖЕНИЕ Р .....	207

ПРИЛОЖЕНИЕ С .....	212
ПРИЛОЖЕНИЕ Т .....	218
ПРИЛОЖЕНИЕ У .....	230
ПРИЛОЖЕНИЕ Ф .....	238
ПРИЛОЖЕНИЕ Х .....	242
ПРИЛОЖЕНИЕ Ц .....	252
ПРИЛОЖЕНИЕ Ш .....	254
ПРИЛОЖЕНИЕ Щ .....	260
ПРИЛОЖЕНИЕ Э .....	261

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Эксплуатационное состояние подготовительных выработок обуславливается в основном эффективностью работы околоштрекового охранного сооружения. Традиционно применяемые способы охраны выработок проводимых за лавой – бутовые полосы, костры, бутокостры, тумбы из железобетонных блоков (БЖБТ) и др. Несмотря на различие в технологии сооружения, и разную жёсткость охранных сооружений, все они вступают в работу не сразу после возведения, а после исчерпания зазоров и определённой усадки охранного сооружения, которое реализуется за счет сближения кровли и почвы. При этом несущая способность охранного сооружения возрастает со временем, и достигает рабочего режима на значительном расстоянии от лавы.

Отсутствие существенного сопротивления смещениям пород кровли в направлении извлечённого лавой пласта приводит к их прогибу, расслоению, вызывает рост зоны разрушения вглубь массива, что обуславливает асимметричное нагружение крепи выработки и значительную потерю ее высоты. Это приводит к необходимости проведения дополнительных мероприятий, направленных на обеспечение эксплуатационного состояния выработок.

Таким образом, разработка новых и модернизация существующих способов поддержания горных выработок после прохода очистного забоя, позволяющих минимизировать или ликвидировать указанные недостатки, является одной из актуальных задач горного дела.

**Степень разработанности темы исследования.** Как показывает практика, попытки улучшить состояние выработок за счёт повышения несущей способности охранного сооружения не дали ощутимых результатов. Это связано с повышением затрат на реализацию способа охраны, увеличением трудоёмкости возведения, сужением области применения, а также включением охранного сооружения в работу по поддержанию выработки за время более суток.

В этой связи одним из перспективных направлений является разработка и внедрение охранных сооружений содержащих в своей конструкции распорные

элементы, достоинством которых является быстрое включение в работу по поддержанию выработки.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** 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: Н-11-13 «Совершенствование способов повышения устойчивости горных выработок в условиях глубоких шахт», 2013-2017 гг. (№0113U001787), а также Н10-18 «Усовершенствование способов поддержания выработок глубоких шахт на основе инновационных технологических решений» 2019-наст. время, в которых автор являлся исполнителем.

**Цель работы** заключается в повышении эффективности охраны подготовительных выработок на основе активного распора разрушенных пород, заключённых в опалубку.

**Основные задачи исследований:**

1. Выполнить анализ известных способов охраны выработок, примыкающих к очистному забою.
2. Исследовать влияние конструкции охранного сооружения на механизм разрушения массива вокруг подготовительной выработки.
3. Разработать конструкцию охранного сооружения на основе активного распора разрушенных пород, заключённых в опалубку.
4. Обосновать рациональные параметры охранного сооружения.
5. Провести шахтные испытания предлагаемого охранного сооружения.

**Объектом исследования** являются подготовительные выработки, примыкающие к очистному забою.

**Предметом исследования** является способ охраны подготовительных выработок на основе активного распора разрушенных пород, заключённых в опалубку.

**Научная новизна полученных результатов:**

1. Впервые установлены особенности образования магистральной трещины при обрушении пород кровли, заключающиеся в том, что ее место возникновения и путь развития проходит по точкам массива, в которых совпадают середины диапазонов горизонтальных и вертикальных смещений. При этом положение магистральной трещины относительно выработки зависит от своевременного включения охранного сооружения в работу по поддержанию выработки.

2. Впервые установлена зависимость эффективности охранного сооружения на основе активного распора от жёсткости опалубки и места расположения распорного элемента. Наибольший эффект достигается при использовании жёсткой опалубки и расположении распорного элемента сверху охранного сооружения. В результате несущая способность охранного сооружения увеличивается в 1,96 раза, импульс сопротивления разрушению - в 1,62 раза, давление, с которого начинается течение охранного сооружения под нагрузкой в 31,2 раза.

3. Впервые для предлагаемого способа охраны разработана аддитивная модель зависимости несущей способности с квадратичным видом зависимости от высоты, диаметра опалубки, объёма невзрывчатой расширяющейся смеси (НРС) и прямым – от фракционного состава закладочной породы.

**Научное значение работы** заключается в установлении закономерностей изменения напряжённо-деформированного состояния массива пород при применении охранного сооружения, которое быстро включается в работу по поддержанию выработки, что позволило обосновать его рациональные параметры.

**Практическое значение работы:**

1. Разработаны и защищены патентами способы охраны подготовительной выработки, в которых использование в конструкции охранного сооружения НРС в эластичной оболочке или без неё, позволяет одновременно убрать зазоры между кровлей и охранным сооружением и создать в последнем несущее ядро, что ведёт к быстрому включению охранного сооружения в работу по поддержанию выработки.

2. Разработана методика определения рациональных параметров предлагаемого охранного сооружения, основанная на критерии, который показывает вклад охранного сооружения в поддержании выработки. Проведено технико-

экономическое сравнение предлагаемого и шахтного варианта охранного сооружения.

3. Предложена технология возведения предлагаемого варианта охранного сооружения на основе активного распора разрушенных пород, заключённых в опалубку.

**Методы исследований.** Для решения поставленных задач в работе использован комплексный метод исследования, включающий: анализ и обобщение ранее выполненных исследований и практического опыта; физическое моделирование с помощью эквивалентных материалов и с помощью структурных моделей; численное моделирование в программной среде Ansys; шахтные инструментальные наблюдения; обработка результатов исследований методами математической статистики в программной среде Statistica, Excel, Компас и Surfer.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Установлен механизм образования магистральной трещины при включении в работу традиционного охранного сооружения за время более 20-24 часов. Показано, что магистральная трещина, приводящая к обрушению консоли кровли, формируется со стороны массива. При этом в первую очередь нагрузка от обрушенных пород воспринимается выработкой, а не охранным сооружением.

2. Установлено, что при использовании тумб с распором устье магистральной трещины формируется не от растяжения в основной кровле на контакте её с непосредственной, а от сжатия в непосредственной кровле на контакте её с охранным сооружением со стороны выработанного пространства за счёт того, что тумбы с распором снимают нагрузку от обрушенных пород как с пласта со стороны массива, так и с выработки.

**Реализация работы.** Предлагаемое охранный сооружение, которое быстро вступает в работу, прошло опытно-промышленную проверку в конвейерном штреке 10 восточной лавы пласта  $l_6$  ООО «Шахта «Рассвет-1».

Полученные в ходе выполнения диссертационных исследований результаты использованы ДОННТУ в учебном процессе для студентов по специальности «Горное дело» специализаций «Разработка месторождений полезных ископаемых».



**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается: корректностью постановки и решения задач; адекватностью разработанных математических и физических моделей; использованием стандартных методик, приборов и оборудования при выполнении лабораторных, стендовых и шахтных исследований; достаточным объёмом лабораторных исследований, шахтных инструментальных наблюдений и исследований методом численного моделирования; высокой теснотой связи в установленных зависимостях между исследуемыми величинами и их параметрами; хорошей сходимостью результатов лабораторных и аналитических исследований; положительными результатами опытно-промышленной проверки предлагаемого охранного сооружения, которое быстро вступает в работу.

**Апробация результатов работы.** Основные результаты работы обсуждались и получили одобрение на: VI Международной научно-практической конференции «Донбасс-2020: перспективы развития глазами молодых учёных», г. Донецк, 4 апреля 2012 года; Международной научно-технической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов: «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений», г. Донецк, 9-11 апреля 2014 года.

**Публикации.** Основные научные и практические результаты опубликованы в 15 научных работах: 8 статей опубликованы в специализированных научных изданиях, в том числе 2 без соавторов, 2 статей - в сборниках конференций, 3 патента на полезную модель и 2 - на изобретение.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 разделов и заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 233 наименований на 28 страницах, содержит 156 страниц основного текста, 173 рисунков и 37 таблиц в 23 приложениях на 104 страницах. Общий объём работы 261 страниц.

## РАЗДЕЛ 1

## СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

## 1.1 Основные гипотезы объясняющие деформирование горных выработок

Уменьшение площади сечения в той или иной степени наблюдается в горных выработках разной формы, глубины залегания, расположения относительно элементов залегания, с разным сроком эксплуатации и технологическим назначением. Механизм деформирования контура обусловлен всеми перечисленными выше факторами, и, как правило, не укладывается ни в одну из известных гипотез. Однако, для анализа состояния горных выработок, прогноза деформаций, выбора типа и расчета параметров крепления необходимо использовать упорядоченные теории, представленные в виде математических зависимостей.

Существующие представления по мере их развития можно разделить на следующие группы:

- гипотезы, базирующиеся на методах строительной механики, имеющие в своей основе упрощенные расчетные схемы;
- гипотезы, базирующиеся на методах теории сплошной среды, использующие математический аппарат соответствующих теорий;
- эмпирико-теоретические гипотезы и гипотезы, использующие численные методы решения.

Первые попытки объяснить процессы деформирования контура выработок предприняты в работе проф. Протодяконова [1]. Согласно его представлениям в кровле выработки по ее ширине образуется свод обрушения. Форма свода имеет вид параболы, из уравнения которой и выводится его высота. При этом нагрузку на крепь, согласно представлениям М.М. Протодяконова, определяет вес пород в пределах свода обрушения. Поскольку форма свода не меняется со временем, нагрузка является константой. В расчетной формуле не учитываются глубина

залегания выработки, свойства пород и другие горно-геологические условия. Результаты расчета по формуле Протоdjяконова не подтверждаются практикой.

Близкий, по сути, с гипотезой проф. Протоdjяконовым подход, и попытки его развития представлены в работах М.П. Цимбаревича [2], В. Риттера, В.Д. Слесарева [3], Н.М. Покровского [4]. Однако всем им присущи те же недостатки и неточности. Единственным свойством пород, которое учитывается описанными гипотезами, является угол внутреннего трения.

Необходимость же учета глубины залегания выработки указана в работе В.В. Орлова [5]. Однако его предложение не формализовано математически, строго говоря, относится к третьей группе гипотез, поскольку опирается чисто на эмпирический подход.

Математическое обоснование необходимости учета напряжений в массиве и физико-механических свойств массива, хотя все еще в рамках гипотезы свода, предложено Р. Квапилом [6]. Хотя основным свойством породы, по Квапилу, определяющим стрелу свода равновесия, по-прежнему является угол внутреннего трения. Всем гипотезам первой группы присущи такие недостатки:

- нагрузка на крепь представляется величиной постоянной, вследствие ограничения ее сводом равновесия, управление которым не возможно;
- форма разрушенной области, и нагрузка на крепь не зависят от типа и режима работы крепи, горно-геологических условий, технологии работ;
- не учитываются прочностные свойства вмещающих пород и геомеханические процессы, происходящие в них.

Применять эти гипотезы или их модификации для анализа напряженно-деформированного состояния подготовительных выработок поддерживаемых за лавой (на границе с выработанным пространством) не представляется возможным.

Среди гипотез, использующих аппарат механики сплошной среды, основными являются:

- гипотеза сплошной среды (А.Н. Динник [7], Г.Н. Савин [8], И.В. Баклашов [9] и т.д.);
- гипотеза пластической среды (Р. Феннер [10]);

- гипотеза упругопластической среды (А. Лабасс [11], К.В. Руппенейт [12, 13? 14], Ю.М. Либерман [15], Л.В. Ершов [16], Ю.З. Заславский [17, 18] и т.д.);

- гипотеза наследственной ползучести (Ж.С. Ержанов [19], А.П. Максимов [20], Ю.А. Векслер [21] и др.).

В большинстве работ перечисленных ученых режим работы крепи горных выработок учитывается в расчетных схемах. Таким образом, напряжения в массиве и деформации контура выработки имеют функциональную связь.

Одним из первых о равновесии в системе «крепь-массив» и перераспределении напряжений в массиве со временем написал проф. П.М. Цимбаревич [2]. Его построения касались изменения нагрузки на крепь выработок вследствие ее податливости. Однако практическое использование предложенных Цимбаревичем математических зависимостей было затруднено.

Отдельная группа исследователей (А.Н. Динник [7], Г.Н. Савин [8], И.В. Баклашов [9]), находясь на позициях приверженцев классической теории упругости, использовала ее математический аппарат, в первую очередь классическую задачу Лямэ, теорию балок и плит. Однако, получаемые по этим гипотезам расчетные деформации контура, на порядок и больше были меньше реальных. Породы представлялись сплошной средой на всех этапах нагружения, что не соответствует реальной картине. Выводы же о возможном разрушении пород, предлагалось делать исключительно на сравнении расчетных напряжений с предельными, в соответствии с выбранной теорией прочности.

Существенным прорывом в знании о процессах вокруг горной выработки была гипотеза А. Лабасса [11]. Основываясь на представления Р. Феннера [10] о наличии вокруг выработки двух зон – зоны сыпучей среды (разрушенные породы) и упругой среды (нетронутый массив), А. Лабасс разработал новую концепцию. Согласно его представлениям «в породах, окружающих горную выработку, образуются три зоны – зона разрушения, зона повышенных напряжений и зона, в которой напряжения уменьшаются до величин, соответствующих состоянию нетронутого массива. В первой зоне порода, разрушаясь, увеличивается в объеме и перемещается в полость выработки. Давление, вызываемое расширением,

накладываясь на давление, создаваемое весом пород, отделившихся от общей массы, определяет нагрузку на крепь. Если крепь обладает достаточным сопротивлением (препятствует дальнейшему расширению пород), то она останавливает этот процесс, и устанавливается равновесие. В противном случае крепь либо деформируется, если она податливая, либо разрушается».

Гипотеза А. Лабасса учитывает прочность пород, в ее интерпретации по теории Кулона – Мора (через сцепление и угол внутреннего трения). Однако новая концепция также не была лишена недостатков. Радиус области разрушенных пород входит в формулу в качестве одного из аргументов, однако его величина зависит от физико-механических свойств пород, глубины и т.д. Фактически А. Лабасс предлагает его определять эмпирически, что невозможно, поскольку проектная выработка еще не существует. Горно-геологические и горнотехнические условия выработки не учитываются. В связи с этим практическое применение полученной формулы связано с определенными допущениями, а ее использование для анализа состояния пород в выработке, поддерживаемой за лавой невозможно.

Независимо от А. Лабасса, К.В. Руппенейт [12, 13, 14] и Ю.М. Либерман [15], используя гипотезу о развитии вокруг выработки зоны неупругих деформаций как следствие превышения напряжениями вблизи выработки некоего порога упругости пород, получили аналитические решения для определения радиуса области разрушенных пород и давления на крепь выработки. Выработка имела форму круга, по сути, являясь вырезом в пластине, для которой решалась К.В. Руппенейтом упругопластическая задача, а Ю.М. Либерманом идеально хрупкая. Полученные математические решения удовлетворительно описывали физическую природу происходящих вокруг выработки процессов, однако требовали большого количества исходных данных, определение которых на практике затруднено. Расчеты смещений на контуре выработок и нагрузок на крепь, получаемые по этим гипотезам существенно отличаются от измеренных в реальных условиях. Кроме того полученные зависимости и механизмы невозможно применять для выработок поддерживаемых на границе с выработанным пространством. В такой постановке

выработка не может быть представлена круговым сечением, задача не имеет симметрий.

Следующим витком гносеологических представлений о развитии НДС вокруг горной выработки стало применение реологических моделей. Такая постановка предполагает рост деформаций без потери массивом своей сплошности. В первую очередь следует упомянуть работы Ю.А. Векслера [21], В.Т. Глушко [22], Ж.С. Ержанова [19], где описанный подход применяется для всего породного массива, а также работы В.А. Лыткина [23], А.П. Максимова [20], М.Н. Шейхета [24, 25], больше ориентированные на процессы происходящие в породах почвы выработки. Такой подход позволил получить деформации, совпадающие с реальными, однако предположение об отсутствии разрушения в породах, для большинства пород угольных формаций является ложным. Асимметрия имеющая место в выработках, поддерживаемых на границе с выработанным пространством описанными гипотезами не объясняется.

Из отечественных учёных положивших основу эмпирико-теоретическому подходу особое внимание заслуживает Ю.З. Заславский [17, 18]. Предложенный им метод основан на натурных замерах. Функция перемещения контура выработки в качестве аргументов имеет напряжения в нетронутом массиве, предел прочности на одноосное сжатие пород, отпор крепи, модуль упругости пород и радиус крепи. Метод решения, позволивший получить эту функцию, основан на теории размерностей. Выходом гипотезы Ю.З. Заславского является зависимость размера зоны неупругих деформаций от перечисленных выше факторов. Полученное решение, хоть и позволяет получить расчетные перемещения близкие к реальным для одиночных выработок, имеет в своей основе предположение о симметричном расположении напряжений, что не соответствует реальной картине наблюдаемой вокруг выработки поддерживаемой на границе с выработанным пространством.

Развитие эмпирико-теоретического подхода имело место в работах И.Л. Черняка [26, 27]. Он предложил делить деформационные процессы в зависимости от соотношения между напряжениями в массиве и пределами прочности пород на длительную и мгновенную прочность. В зависимости от соотношения указанных

величин в массиве возникаю три зоны. Метод прогноза смещений контура выработки, предложенный И.Л. Черняком, в неявном виде учитывает время и носит вероятностно-статистический характер. Схожий вероятностно-статистический подход предложен в работах профессоров НГУ А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижковой [28]. Однако механизм развития области неупругих деформаций вокруг выработки рассматривается авторами в условиях осевой симметрии напряжений и не отражает механизм изменения НДС вокруг выработки поддерживаемой на границе с выработанным пространством.

На анализе соотношения напряжений в массиве и прочности пород в любой точке массива построена предложенная Г.Г. Литвинским [29] концепция оценки устойчивости выработки. Автором разработан нормированный критерий разрушения, учитывающий функцию тензора напряжений и функцию параметров прочности пород, позволяющий оценить состояние пород в любой точке массива вокруг одиночной выработки. Однако концепция Г.Г. Литвинского не позволяет оценивать НДС массивов вокруг выработок поддерживаемых на границе с выработанным пространством.

Эмпирический подход и статистический анализ большого числа замеров позволил ученым ВНИМИ разработать методику прогноза смещений контура выработки с заданными параметрами любого назначения на всех этапах поддержания выработки. Расчет смещений контура выработок по методике ВНИМИ, позволяет получать близкие к реальным значения смещений. Они, для выработки, оформляемой позади очистного забоя и поддерживаемой охранными сооружениями, зависят от глубины разработки, средневзвешенной прочности пород вокруг выработки, времени поддержания выработки в зоне остаточного опорного давления, площади поперечного сечения выработки, типа охранных сооружений.

Однако предложенные зависимости не только не учитывают природу происходящих на контуре с лавой процессов, но и не позволяют учесть режим работы охранных сооружений и время его вступления в работу. Предполагается, что охранный конструкцией вступает в работу сразу после ее возведения и работает в заданном режиме.

Обобщение представлений о деформировании пород на контуре с лавой приведено в фундаментальной работе проф. О. Якоби. Примером является схема, разработанная проф. Й. Грамбергом [30], в которой на деформации контура выработки оказывают влияние обрушение пород основной и непосредственной кровли. Объяснена асимметрия деформирования выработки. Повышенные деформации со стороны выработанного пространства объясняются прогибом и разрушением пород кровли пласта, повышенные напряжения со стороны массива объясняются опорным давлением, приводящим к разрушению пород над выработкой и со стороны массива. В целом предложенная схема объясняет физическую сущность происходящих процессов. Однако по-прежнему не учитывает режим работы охранного сооружения и время его вступления в работу. Расчетные методы Й. Грамбергом не предлагаются.

В отечественной практике необходимость учитывать режим работы охранного сооружения подчеркнута в работах М.П. Зборщика, М.П. Ильяшова [31], Л.В. Байсарова [32]. В первую очередь это связано с повторным использованием выработок при охране их литыми полосами. Авторы подчеркивают, что нагружение крепи выработки и соответственно деформации массива определяются характером разрушения пород, который зависит от жесткости литой полосы. Однако время вступления полосы в работу и выход ее на рабочий режим не учитывается.

Развитие численных методов математического анализа привело к появлению серии работ, посвященных охранным сооружениям и использующих в качестве инструмента метод конечных элементов [17, 26, 33-49] и метод граничных элементов [50, 51]. Все перечисленные выше работы позволяют наблюдать асимметрию деформаций и напряжений в массиве, и, используя соответствующие программные продукты (Ansys [34, 37, 42, 46, 47, 49], Ansys Solid Works [36], SCAD [35], Plaxis [45], Creep [38], Проруст [33, 17], ГЕО-РС [48], программа КарПТИ [39], программа НГУ [43]), количественно их оценить. Однако только небольшая часть этих работ выполнена в объемной постановке [36, 37, 46, 47], хотя и они не включают очистной забой со средствами его крепления. Кроме того, значительная часть работ оперирует только такими свойствами горных пород как модуль



упругости и коэффициент Пуассона [17, 40-42, 44], не используя такие свойства как плотность [45- 47, 67, 107, 108, 118], сцепление [34, 37-39, 46, 47], угол внутреннего трения [33, 34, 37-39, 46, 47], дилатансию [34, 37, 39, 46, 47], предел прочности на сжатие [34-39, 43, 46, 47, 49], предел прочности на растяжение [36-39, 43, 46, 47, 49]. К тому же, в большей части работ до начала расчетов кровля за охранным сооружением отсечена [35, 38, 41, 48, 49] или выработанное пространство заложено обрушенной и уплотненной породой [35, 38, 41, 42, 48, 49] или нарушены граничные условия, в результате чего длина консоли, зависшей в выработанном пространстве, уменьшается [34]. Это приводит к уменьшению нагрузки на охранный сооружение и к дальнейшей ошибке при определении его рациональных параметров. При этом ни одна из работ не рассматривает влияние времени вступления в работу охранный сооружения на эффективность поддержания выработки.

## 1.2 Анализ способов охраны выработок, примыкающих к очистному забою

Эффективность способа охраны в первую очередь зависит от времени вступления его в работу, которое определяется скоростью опускания пород кровли, конструкцией самого охранный сооружения и технологией его установки. Поскольку скорость опускания пород кровли при постоянной скорости подвигания очистного забоя не поддаётся управлению [52-56], рассматривалось влияние конструкции охранный сооружения, технологии возведения, расстояния от очистного забоя до места его установки на время его вступления в работу.

Анализ литературных источников показал, что влияние расстояния от очистного забоя до места установки охранный сооружения детально не исследовалось.

Быстрое вступление в работу охранный сооружения связывают с его жёсткостью. По данным литературных источников большая часть из них оценивает жёсткость, сравнивая различные конструкции охранный сооружений [57, 58, 33, 59-63, 34, 36-38, 64, 17, 65-67, 30, 68-73, 39, 74, 41, 42, 75], а меньшая – рассматривает

влияние параметров конкретной конструкции охранного сооружения на его жёсткость [17, 33-36, 40, 43, 45, 52, 57, 59-66, 68, 73-80, 82, 83, 85, 88-107] и на механизм сдвижения пород вокруг сохраняемой выработки [17, 33-36, 38-40, 42-50, 52, 58-63, 66, 69-78, 80-82, 84, 86, 87, 92, 94, 100, 101, 108-114].

Очень редко в источниках определяются рациональные параметры охранного сооружения, как правило, они представляют диапазон значений [33, 37, 39, 40, 44, 46, 52, 64, 65, 70, 72, 74, 78, 80, 90, 91, 93, 102, 104-107, 111, 115-127], а не конкретную величину параметра [33, 34, 36, 43, 49, 51, 57-59, 61-65, 88, 89, 100, 103-106, 110, 113, 114, 117, 125, 126, 128-137]. При этом выбор рациональных параметров лишь иногда связан с их экономической эффективностью [33, 36, 57, 58, 62, 70, 79, 80, 89].

В части работ быстрое вступление в работу охранного сооружения связывают с плохим контактом между непосредственной кровлей и поверхностью охранного сооружения [62, 72, 76, 82, 83, 89, 91, 93, 95, 98, 99, 150]. Чаще всего улучшению контакта посвящены патенты [105, 113, 114, 116, 120, 121, 124-128, 130-132, 134-149], т.е. вопрос решается на уровне идеи.

В основном сложный механизм сдвижения пород вокруг выработки характеризуется только смещениями пород внутрь её полости [30, 57, 64, 67]. Вопрос же о вероятном месте развития магистральной трещины, по которой обломится кровля в выработанное пространство, рассматривается косвенно [17, 33, 42, 44, 48, 50, 57, 58, 70, 72, 109], при этом не учитываются особенности, которые связаны с моментом возникновения и процессом развития магистральной трещины.

Рассмотрим недостатки охранных сооружений, связанные со временем их вступления в работу.

Одним из самых популярных традиционных охранных сооружений является бутовая полоса. К её недостаткам относятся:

1. возведение вручную – наиболее трудоёмкий способ, при котором несущее ядро составляет 20-25% от её ширины, остальная часть необходима для того, чтобы сформировать это ядро. Это является причиной высокой податливости бутовой полосы (до 60% от мощности пласта);

2. при возведении бутовой полосы скреперной установкой уменьшается трудоёмкость, но вместе с тем снижается и качество;

3. при использовании «Титана» снижается трудоёмкость возведения и повышается его качество, в результате усадка полосы уменьшается до 10-15% от мощности пласта, однако область его применения ограничена большепролетными выработками. Кроме того средняя скорость проходки комплексами Титан-1 составляет 100 м/мес, при этом она ограничивается скоростью подвигания лавы. При сплошной системе разработки такую скорость подвигания можно достигнуть в благоприятных горно-геологических условиях. Учитывая, что отработка пластов на шахтах Донбасса ведется в сложных условиях, применение этого оборудования может оказаться нецелесообразным.

Вторым по популярности является литая полоса. К её недостаткам относятся:

1. время вступления в работу литой полосы зависит от времени набора прочности смеси;

2. уменьшение несущей способности литой полосы из-за: недолива полосы по высоте; задержки возведения полосы после прохода лавы; установки органной крепи вразбежку; частичного заполнения заливочных секций обрушенной породой; отсутствия забутовки между полосой и рамной крепью;

3. даже если был надёжный контакт между кровлей и полосой, то после вытекания воды происходит усадка, возникает зазор между кровлей и полосой и контакт исчезает.

Третьим по популярности является БЖБТ. К его недостаткам относятся:

1. для закладки зазора между кровлей и тумбами используются деревянные шпалы или круглый лес диаметром 100-250мм, который передает нагрузку не по всей площади, в результате чего в местах концентрации напряжений блоки разрушаются, что приводит к снижению несущей способности тумб;

2. использование прокладок в конструкции БЖБТ увеличивает их усадку.

К общим недостаткам деревянных конструкций, связанным со временем вступления в работу относится то, что из-за повышенной температуры и влажности

в шахтных условиях деформация древесины увеличивается, что ведет к уменьшению их несущей способности.

К недостаткам костров относится то, что наибольшего сопротивления деревянные костры достигают при усадке на 50 % и более. В результате этого, остаточное сечение охраняемых выработок за зоной активных смещений составляет 45-65 % от проектного значения. Такие выработки, требуют перекрепления не менее 2-х раз за весь период их эксплуатации;

К недостаткам органки относятся:

1. небольшая площадь контакта с кровлей в совокупности с большим количеством факторов, влияющих на ее работу, приводит к неравномерной работе органных стоек;

2. невозможно управлять ее податливостью.

К недостаткам бетонных полублоков, которые в настоящее время применяются в небольших объёмах, относятся:

1. возведение газобетонной крепи без прокладок приводит к разрушению полублоков на контакте между слоями, в результате чего уменьшается ее несущая способность;

2. использование прокладок в газобетонной крепи сохраняет полублоки от разрушения, но увеличивает ее усадку.

Общим недостатком перечисленных выше охранных сооружений, является то, что из-за зазора между охранным сооружением и непосредственной кровлей они не обеспечивают предварительного распора и вступают в работу после её значительных смещений.

Выполненный анализ показал, что в основном работы направлены на снижение затрат на реализацию способа охраны, уменьшение трудоёмкости возведения охранных сооружений, расширение области применения охранных сооружений, повышение безопасности ведения горных работ, повышение устойчивости охранных сооружений, изоляция подготовительной выработки от выработанного пространства, улучшение экологии [151-153, 161-167].

Усовершенствования, связанные с быстрым вступлением касались:

1. уменьшения расстояния от очистного забоя до места выкладки охранного сооружения [34, 62, 64, 65, 74, 82, 89, 91, 93, 95, 113, 114];

2. повышения несущей способности (жесткости) охранного сооружения [34, 48, 62, 64, 65, 89, 90, 93, 95, 105, 107, 113, 114, 163];

3. создания предварительного распора [34, 48, 62, 64, 65, 82, 89-91, 93, 95, 105, 113, 114].

Рассмотрим их подробнее:

1. уменьшение расстояния осуществлялось за счет:

- установки охранного сооружения при проведении выработки до начала очистных работ [113, 114];

- сохранения устойчивости кровли в берме, под которую впоследствии будет возводиться охранный сооружение за счёт анкерования [62] или нагнетания в закрепное пространство вяжущего [82, 91];

- уменьшения размера несущих элементов охранного сооружения [34, 62, 64, 65, 89, 93, 95];

- выкладки охранного сооружения больше одного раза в сутки [74];

2. повышение несущей способности осуществлялось за счет: использования опалубки: гибкой из воздухонепроницаемого материала [105], тканевой [89], из полиэтиленовых пакетов [62, 93, 95]; увеличения плотности выкладки элементов охранного сооружения из-за: выкладки элементов внутри охранного сооружения с усилием [62] или только последнего по высоте элемента охранного сооружения [62, 93, 95]; изменения количества элементов по высоте охранного сооружения [89] и по длине выработки [34]; уменьшения диаметра породы [89]; закладки материала охранного сооружения под давлением [105]; создания разряжения в опалубке с материалом [105]; повышения устойчивости охранного сооружения при выкладке его элементов с перевязкой швов [34, 62, 89]; задействования внутри охранных сооружений дополнительных элементов: прокладок [34, 64, 65], деревянных стоек [89], твердеющего материала [103], а также саморасширяющейся (НРС) [62] и быстротвердеющей смеси [48, 90, 107];

- применения в качестве основного элемента охранного сооружения пневмобаллонов [113, 114];

- использования дополнительной постоянной распорной конструкции, которая поддерживает кровлю при возведении охранного сооружения [62];

- увеличение ширины охранного сооружения [34];

3. создание предварительного распора осуществлялось за счет:

- закладки подкровельного зазора деревом [34, 48, 64, 65, 89, 90] или ангидритом [82, 91];

- выкладки последнего по высоте элемента охранного сооружения с усилием [62, 89, 93, 95];

- применения в качестве основного элемента охранного сооружения пневмобаллонов [113, 114];

- использования саморасширяющейся смеси (НРС) [62];

- деформирования тела охранного сооружения до тех пор, пока не закроется подкровельный зазор [105].

Однако эти усовершенствования имеют следующие недостатки:

1. повышение затрат на реализацию способа охраны из-за того, что:

- последующее затворение смеси в пакетах не гарантирует, что вся сухая смесь будет участвовать в химической реакции [62, 68, 80, 83, 93, 95, 137];

- в охранном сооружении используется большой расход смеси: из-за отсутствия ограничивающей оболочки-емкости для смеси [121, 134, 158], или наличия в ней отверстий [124, 143];

- увеличиваются затраты на материалы: из-за усложнения конструкции охранного сооружения [146,149], из-за оставления винтовых стоек в охранном сооружении [139]; из-за использования большого количества временных распорных конструкций на участке, равном длине выработки [113, 114, 116];

- появляется необходимость в покупке дополнительного дорогостоящего оборудования для возведения охранного сооружения, а также в затратах на его обслуживание [105, 140] или возможный многократный ремонт [160];

## 2. увеличение трудоемкости возведения охранного сооружения из-за:

- многооперационности [115, 123, 129, 133, 147, 148, 154, 157];
- подгонки элементов охранного сооружения по мощности пласта [62, 89, 122, 126, 142, 155];
- непродуманности деталей возведения: увеличение продолжительности возведения из-за разравнивания слоя породы перед укладкой прокладки [89], сложно в мешке равномерно засыпать со всех сторон породой деревянную стойку [89], сложно со стороны выработанного пространства засыпать последний слой охранного сооружения из породы [89], извлечь временную распорную конструкцию [128], извлечь временную опалубку, которая из-за адгезии может намертво присоединиться к охранному сооружению [107];
- непродуманности деталей конструкции: уменьшение площади опоры, ведет к уменьшению разъемных кольцевых упругих элементов, из которых состоит опалубка, что ведет к уменьшению внутри этих элементов пространства, которое заполняется породой, в свою очередь – меньше породы (проще сделать литую, а не разборную опалубку) [127];

## 3. сужение области применения охранного сооружения:

- благоприятными ГГУ из-за зависимости эффективности работы охранного сооружения: от устойчивости кровли [34, 124, 132], от выдержанности мощности [34, 62, 89, 126, 142, 145, 155] и угла падения [127, 165] пласта;
- выработками, погашаемыми за лавой [116, 149];
- невыбросоопасными пластами [125];
- пластами мощностью до 1,2-1,5м [144].

## 4. снижение несущей способности охранного сооружения из-за того, что:

- возможна потеря устойчивости охранного сооружения [62, 63, 76, 146, 147, 159, 165];

- возможно разрушение эластичной опалубки [89, 136] при возведении или самого охранного сооружения при извлечении временных распорных конструкций [107, 131, 156];
- для охранных сооружений с использованием твердеющей смеси: последующее затворение смеси в пакетах не гарантирует, что вся сухая смесь будет участвовать в химической реакции [62, 68, 80, 83, 93, 95, 137]; скорость набора несущей способности может быть не согласована со скоростью подвигания очистного забоя [62, 138, 141];
- для охранных сооружений с использованием блоков: возведение без прокладок ведет к разрушению блоков на контактах слоев, а с прокладками – к увеличению податливости охранного сооружения [34, 64, 65, 75, 104];
- для охранных сооружений из породы: опора возводится без опалубки [89, 103];

#### 5. отсутствие предварительного распора из-за:

- того что для охранных сооружений из породы опора возводится без опалубки [64, 103];
- того что закладка подкровельного зазора производится саморасширяющимися смесями (НРС) без оболочки [121, 135, 158] или в оболочке, но несаморасширяющимися смесями [143];
- отсутствия закладки подкровельного зазора [89, 133, 164] или закладка всего лишь деревом [34, 63-65, 79, 104];
- зависимости эффективности работы охранного сооружения от выдержанности мощности [34, 62, 89, 126, 142, 145, 155];
- временного эффекта от использования извлекаемых распорных конструкций [120, 128].

Таким образом, необходимо создать такое охранное сооружение, которое бы быстро включалось в работу и позволяло бы повысить устойчивость выработки, снизить затраты на поддержание выработки, снизить трудоемкость, улучшить экологию. Создание такого охранного сооружения возможно путем оставления



породы в шахте, выкладки ее в опалубку (жесткую или податливую) и размещением оболочек с НРС (на контакте между ней и кровлей или внутри), которые позволят одновременно убрать зазоры между кровлей и охранным сооружением и создать в нем несущее ядро. В последние 10 лет использование НРС в шахте - перспективное направление, которое затрагивает не только охранные сооружения, но и проведение выработки, обрезку консоли, ремонт выработки, добычу блочного камня, дробление негабаритов.

Из чего следует, что вопрос об обосновании параметров конструкции охрannого сооружения в подготовительных выработках, является актуальной задачей.

### 1.3 Цель и задачи исследований

Цель работы заключается в повышении эффективности охраны подготовительных выработок на основе активного распора разрушенных пород, заключённых в опалубку.

Основные задачи исследований:

1. Выполнить анализ известных способов охраны выработок, примыкающих к очистному забою.
2. Исследовать влияние конструкции охрannого сооружения на механизм разрушения массива вокруг подготовительной выработки.
3. Разработать конструкцию охрannого сооружения на основе активного распора разрушенных пород, заключённых в опалубку.
4. Обосновать рациональные параметры охрannого сооружения.
5. Провести шахтные испытания предлагаемого охрannого сооружения.

## РАЗДЕЛ 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ОХРАННОГО СООРУЖЕНИЯ НА  
МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА ВОКРУГ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ  
ВЫРАБОТКИ

## 2.1. Методика исследований

В разделе 1 был сделан вывод о необходимости использования такого охранного сооружения, которое бы быстро включалось в работу. Для изучения влияния конструкции охранного сооружения (наличия/отсутствия зазора между охранным сооружением и кровлей) на механизм разрушения массива вокруг подготовительной выработки были проведены исследования методом физического моделирования с помощью эквивалентных материалов. Данный метод позволяет воспроизводить в модели различное строение толщи пород и полезного ископаемого и осуществлять в достаточном приближении к натуре производство всех основных горнотехнических операций по выемке полезного ископаемого и креплению выработок [168], а также необратимые пластические деформации, разрушение и перемещение горных пород [36,170-175].

При моделировании использовали геометрический критерий подобия и подобие механических характеристик материала [168].

Моделирование осуществлялось на стенде размерами 80x50x10 см (рисунок 2.1) в масштабе 1:50 с использованием песчано-парафино-канифолиевых смесей.

Для приближения результатов моделирования к реальным были приняты ГГУ и ГТУ выемочного участка 10 восточной лавы пласта  $l_6$  ООО «Шахта «Рассвет-1» (рисунок 2.2), на котором были намечены дальнейшие шахтные испытания.

Контрольные образцы из эквивалентного материала на объёмную плотность модели  $1,5 \text{ г/см}^3$  были изготовлены по рецептуре согласно рекомендациям [169] (таблица А.1), и испытаны на одноосное сжатие.

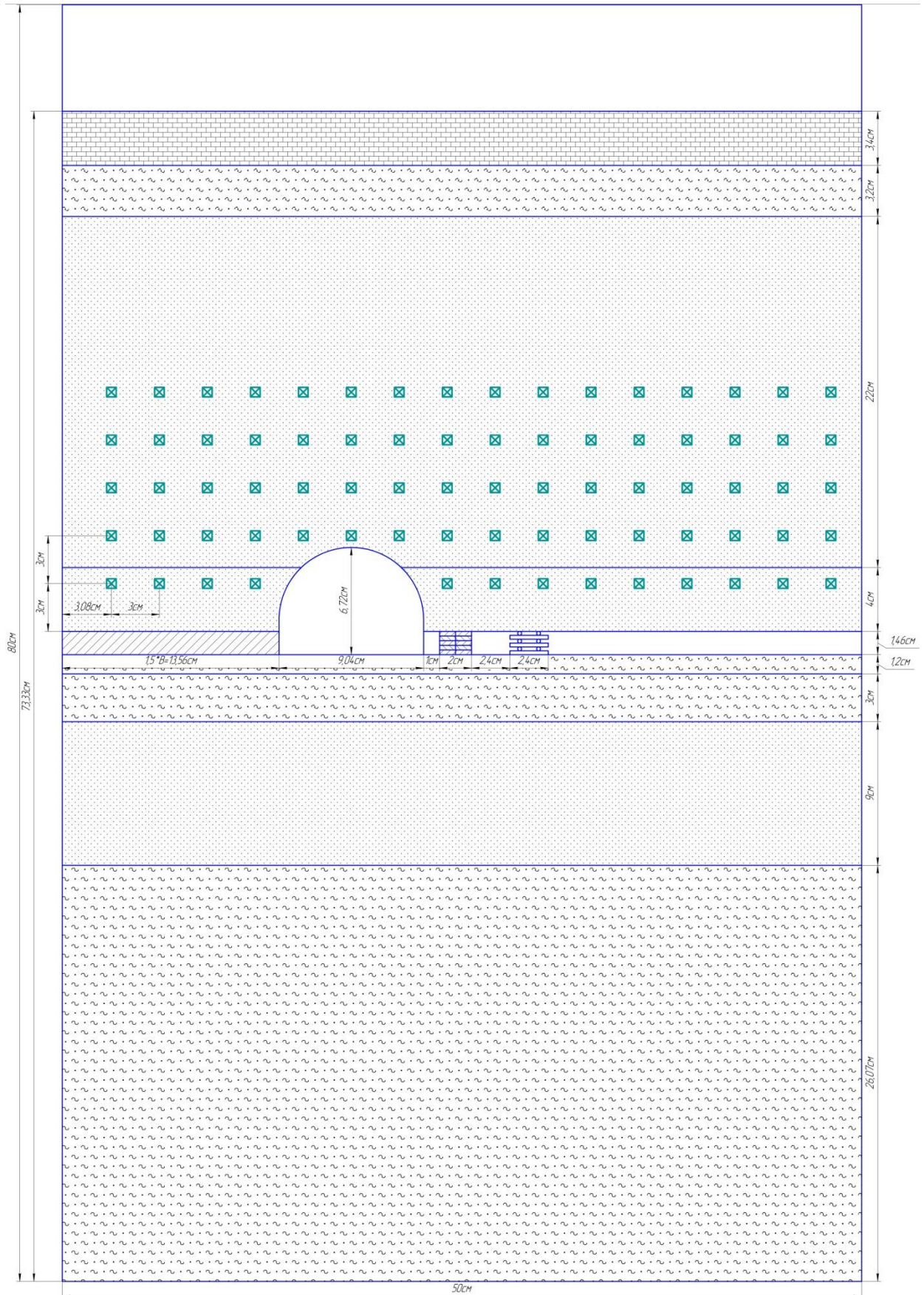


Рисунок 2.1 - Схема модели для условий шахты «Рассвет-1» (модель без лавы)

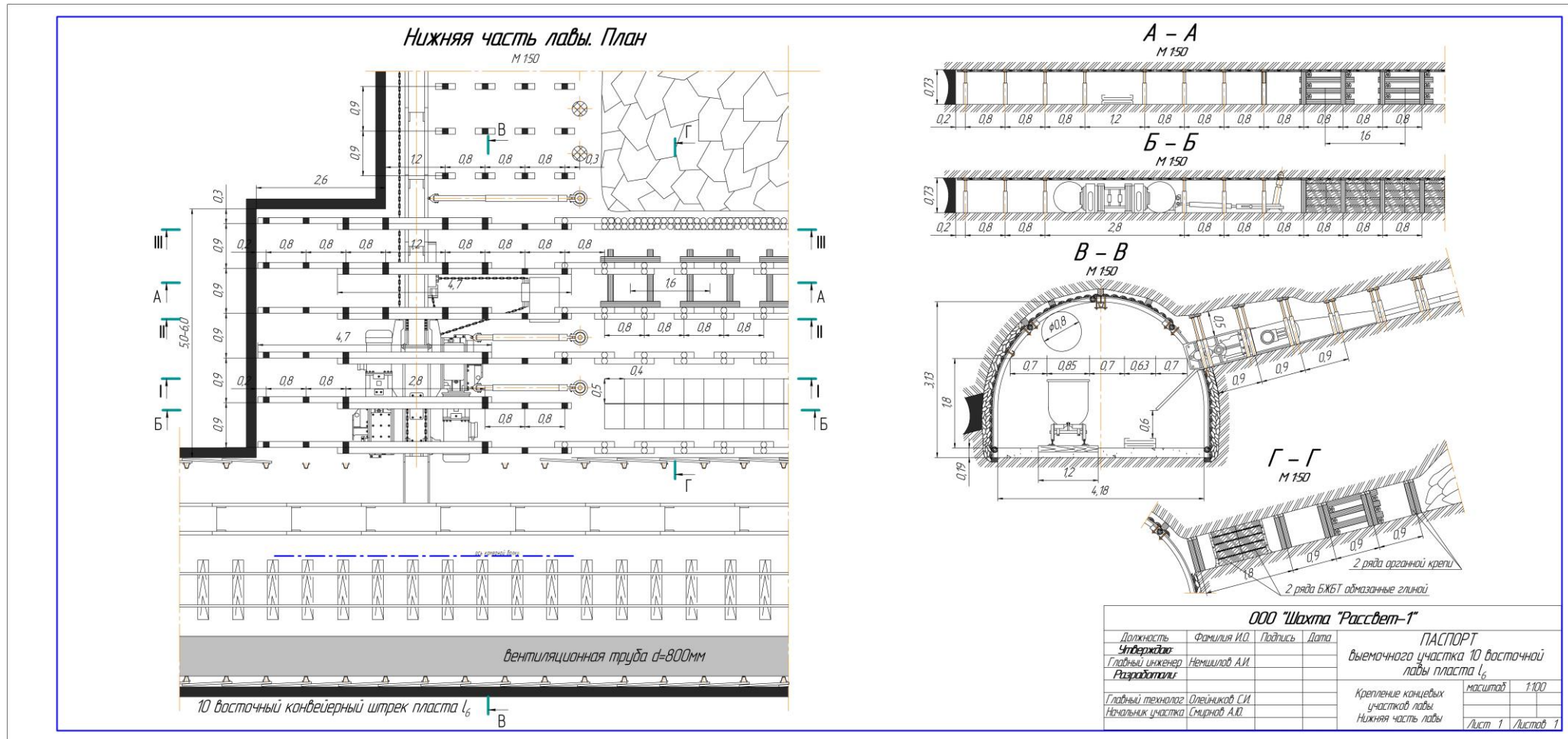


Рисунок 2.2 - ООО «Шахта «Рассвет-1». Паспорт выемочного участка 10 восточной лавы пл.  $l_6$ . Нижняя часть лавы. План (шахтный вариант)

При закатке контрольных образцов для возможности дальнейшей корректировки фиксировали процентное соотношение песка, парафина, канифоли, мела в смеси; температуры, до которой нагревали песок; время, в течение которого перемешивали смесь. Укладку смеси производили в специальные формы, слоями (рисунок Б.1). Мощность слоев фиксировали. Размеры получаемых образцов – 55x55x55 мм, соответствовали размеру рабочей камеры УНТС [176] (рисунок Б.2). Через сутки образцы вынимали из формы и сушили в течение 8-12 суток (время сушки также фиксировали).

Испытание образцов на одноосное сжатие производили на установке неравнокомпонентного трехосного сжатия (УНТС (рисунок Б.3)) с двумя незадействованными воспринимающими и нажимными плитами.

Нагружение образцов производили следующим образом. Образец помещали в рабочую камеру между двумя нажимными плитами при отодвинутых горизонтальных. Скорость нагружения составляла 0,05 МПа/с. Фиксация давлений производилась при помощи аппаратуры пресса, а смещение граней образца – по электронному индикатору часового типа. Эти данные обрабатывались на рабочей станции и сохранялись в виде массива точек. Эксперимент продолжали до тех пор, пока максимальные деформации не достигнут 2,5 мм, что составляло 4,55% от высоты образца. При этом на графике, построенном по массиву точек, было видно четыре стадии нагружения: первая стадия – подгружение образца (горизонтальная площадка), вторая – переход процесса нагружения в рабочий режим (восходящая ветка), третья – разрушение образца (горизонтальная площадка), четвертая – раскрытие трещин, по которым разрушился образец и практически беспрепятственное движение штока нажимной плиты вниз (нисходящая ветка).

Было произведено испытание 85 образцов: 58 образцов – для уточнения технологии закатки, 27 образцов – для проверки правильности уточненной рецептуры (рисунок Б.4).

Сравнение результатов испытаний образцов из эквивалентного материала, изготовленных по скорректированной рецептуре по результатам предварительных испытаний на одноосное сжатие (рисунок Б.5) с ожидаемой расчётной прочностью

показало, что расхождение составляет 18-26 %, что вполне удовлетворяет точности решаемой задачи.

Смесь готовили следующим образом. Песок в металлической емкости нагревали до температуры 70 °С, постоянно перемешивая. Затем, сняв его с источника тепла, добавляли парафин и канифоль, в соответствии с составом данного слоя.

Для того чтобы выделить слои разного литологического состава, использовали разметочный мел синего и красного цвета. Масса мела, добавляемого в слой, была незначительной, составляла половину порции парафина в данном слое и не влияла на его прочность.

Тщательно размешивали состав в течение 3 минут для равномерного распределения парафина и канифоли в смеси. Готовый состав высыпали за опалубку, которая представляла собой сварной металлический каркас, закрытый с двух сторон швеллерами, стянутыми между собой при помощи металлических шпилек. Швеллеры по высоте рамы наращивали по мере закатки слоев.

После выкладки смеси за опалубку производили ее разравнивание и укатку при помощи металлического полого цилиндра высотой 10 см (которая соответствовала толщине модели) и массой 4 кг. Количество циклов укатки - 9.

Для того чтобы разделить слои массива в модели использовали слюду. Расход слюды составлял 0,05-0,07 г/см<sup>2</sup>.

Толщину укатываемого слоя принимали в пределах 1-1,46 см (таблица А.1). Мощность слоев, укатываемых в течение суток не превышала 5 см, для того чтобы при укатке слоев нижние слои не переуплотнились и не получали увеличенную, по сравнению с запланированной паспортом прочность.

После укатки последнего слоя (общая мощность укатанных слоев 73,33 см) модель сушили в течение 8 суток, затем, после снятия швеллеров, в непосредственной и основной кроле по ширине модели устанавливали контурные репера в 5 рядов, с помощью шаблона делали отверстие, имитирующее выработку. Для моделирования очистных работ производили разрушение и уборку материала от выработки и до границы модели за одну заходку. Потом в выработанном

пространстве на расстоянии от контура выработки 1 см и 5,4 см (которое в паспорте 10 восточной лавы пласта  $l_6$  соответствовало 0,5 м и 2,7 м) производили установку элементов, имитирующих охранные сооружения – БЖБТ и костры (шахтный вариант, рисунок 2.1). БЖБТ в модели имитировали при помощи трех элементов размерами 2,0x2,0x1,17 см (которые в паспорте 10 восточной лавы пласта  $l_6$  соответствовали 1,0x1,0x0,585 м), полученных закаткой песчано-парафино-канифолиевой смеси в форму. Размер элементов подбирали таким образом, чтобы после их установки зазор между ними и кровлей пласта составлял 20 % от мощности пласта или 0,29 см (который в паспорте 10 восточной лавы пласта  $l_6$  соответствовал 0,145 м). Состав смеси подбирали таким образом, чтобы прочность получаемого элемента соответствовала несущей способности БЖБТ в соответствии с масштабом моделирования [89]. Костры в модели имитировали при помощи брусков из плотного картона размерами 0,2x0,2x2,4 см (которые в паспорте 10 восточной лавы пласта  $l_6$  соответствовали 0,1x0,1x1,2 м), которые фиксировали между собой при помощи клея ПВА. Конечная высота костра соответствовала мощности пласта. Количество костров выкладываемых по ширине модели – 3 (которое в паспорте 10 восточной лавы пласта  $l_6$  соответствовало шагу установки костров 1,6 м).

Время, в течение которого воспроизводили проведение выработки, выемку пласта и выкладку охранных сооружений, фиксировали для того, чтобы воспроизвести все эти процессы на следующей модели за такой же промежуток времени.

Модель с лицевой стороны закрывали плексигласом, который фиксировали швеллерами, стянутыми между собой при помощи металлических шпилек (рисунок 2.3).

Нагружение модели осуществляли через металлическую плиту толщиной 8 мм с помощью домкрата Intertool GT0021 с грузоподъемностью 2 т, который позволял воспроизвести вес оставшихся до поверхности пород для конвейерного штрека 10 восточной лавы пласта  $l_6$ , расположенного на глубине 530 м (1,282 т).

До начала нагружения модели для более точного дальнейшего определения смещений реперов относительно шести маркировочных точек на жесткой базе стенда, лежащих в плоскости модели, определили их взаимное расположение в прямоугольной системе координат при помощи тахеометра.

Каждый шаг нагружения представлял собой  $1/10$  от конечной величины нагружения, т.е. 0,128 т.

После каждого шага нагружения производили фотофиксацию смещений реперов с помощью цифровой камеры установленной на неподвижном штативе. Расстояние от цифровой камеры до модели 2,25 м, фокусное расстояние 7,3 мм, размер получаемой фотографии 3264x2448 пикселя, dpi 180x180.

Фото моделей до и после всех шагов нагружения представлены на рисунках 2.3-2.6.

Полученные после каждого шага нагружения фотографии корректировали – убрали перспективу с помощью программы «Дельта». С откорректированных фотографий в программе «Цифровая станция» снимали изменение смещений реперов между шагами нагружения с погрешностью 0,05 мм, которая соответствовала погрешности, установленной для данного геометрического масштаба модели [177].

При закатке и отработке следующей модели последовательность и время всех операций принимали таким же.

Во второй модели предварительный распор охранного сооружения моделировали отсутствием подкровельного зазора. Для этого при укатке слоя, соответствующего угольному пласту в модели располагали патроны из фольги толщиной 0,045 мм, временное сопротивление которой соответствовало временному сопротивлению проката жёсткой опалубки [217]. Внешний диаметр патрона составлял 1,5 см (что соответствовало 0,75 м в натуре). Таких патронов по ширине модели было – 4 (это количество соответствовало шагу установки 0,875 м в натуре). Внутри каждого патрона располагали элемент, полученный закаткой песчано-парафино-канифолиевой смеси в форму. Её состав подбирали таким образом, чтобы



прочность получаемого элемента соответствовала несущей способности тумбы с породой в соответствии с масштабом моделирования [89].



Рисунок 2.3 - Модель (шахтный вариант)



Рисунок 2.4 - Модель (предлагаемый вариант)



Рисунок 2.5 - Модель на момент обрушения консоли основной кровли (шахтный вариант)



Рисунок 2.6 - Модель на момент возникновения устья магистральной трещины (предлагаемый вариант)

Размер тумб подбирали таким образом, чтобы после их установки расстояние между ними и кровлей пласта составлял 20% от мощности пласта или 0,29 см (который соответствовал 0,145 м в натуре - рисунок 2.4). Затем при моделировании очистных работ производили разрушение и уборку материала таким образом, чтобы сохранить часть угольного пласта над тумбами.

Была произведена отработка 8 моделей: 2 моделей – для уточнения методики моделирования, 3 моделей – для шахтного и еще 3 – для предлагаемого варианта.

## 2.2. Результаты моделирования

Для сравнения особенностей разрушения породного массива вокруг подготовительной выработки при различном времени вступления охранного сооружения в работу (наличие/отсутствие зазора между охранным сооружением и кровлей), результаты моделирования обрабатывали следующим образом.

Из всех шагов нагружения анализировали только те, которые произошли на момент обрушения консоли основной кровли.

Чтобы уменьшить объем обрабатываемой информации, из всех трещин после шага нагружения, на котором произошло обрушение, выбирали только те, которые влияли на раскрытие магистральной трещины.

Для этого находили количество и место расположения трещин после шага нагружения, на котором произошло обрушение, из них выбирали вертикальные и диагональные трещины, длина которых превышала 3 слоя пород в модели.

Для того чтобы воссоздать последовательность и механизм возникновения этих трещин, определяли шаг нагружения, на котором возникла трещина, расположение устья и направление роста каждой трещины.

Причину возникновения каждой трещины определяли с помощью ситуационной картины. Для её построения использовали программу «Компас». В этой программе во фрагмент вставляли откорректированную фотографию с привязкой нижнего левого угла к началу координат. Слой, на котором находилась фотография, закрывали для редактирования, и по нему, как через кальку, наносили

контуры массива с подготовительной выработкой, к которой примыкало охранное сооружение, расположенное в выработанном пространстве лавы; репера; трещину (трещины), которая (которые) возникли на данном шаге нагружения (выделяли основной чёрной линией); направление движения частей массива вокруг трещины от предыдущего шага нагружения к текущему. Кроме того, на ситуационной картине выделяли основной сплошной и штриховой чёрной линией вывалы и зоны сжатия, которые возникли на данном шаге, и добавляли тонкой сплошной и штриховой чёрной вывалы и зоны сжатия, которые возникли между шагами нагружения. После этого фотографию из фрагмента удаляли, а оставшиеся после обрисовки контуры сохраняли в формате jpg.

Для того чтобы определить необходимые условия возникновения трещины и вид деформаций, из-за которых она появилась, для каждой ситуационной картины для горизонтальных и вертикальных смещений, полученных по откорректированным фотографиям с помощью программы «Цифровая станция», строили линии равных смещений, используя программу «Surfer». Отмечали, в какой области смещений оказалась трещина, и с какими областями смещений она граничит.

Результаты исследований представлены на рисунках 2.3-2.16. Анализ результатов сравнения шахтного и предлагаемого варианта охранного сооружения позволил сделать следующие выводы:

1. тумбы с распором включаются в работу раньше БЖБТ: на линиях равных горизонтальных смещений над тумбами с распором видна зона сжатия уже на момент возникновения первой трещины (рисунок 2.16), над БЖБТ – её не видно даже после закрытия зазора между БЖБТ и кровлей (момент возникновения магистральной трещины, рисунок 2.15). В результате в непосредственной кровле над тумбами с распором исчезают многочисленные расслоения, трещины и вывалы (рисунки 2.11, 2.12, 2.13), которые возникают при применении БЖБТ (расслоения 1-5; трещины 3,6,9,10; вывалы 1,3,4 на рисунках 2.8, 2.9, 2.10). Как следствие – исчезают трещины в основной кровле у верхней границы модели (трещины 1,2,7 на рисунках 2.7, 2.9).

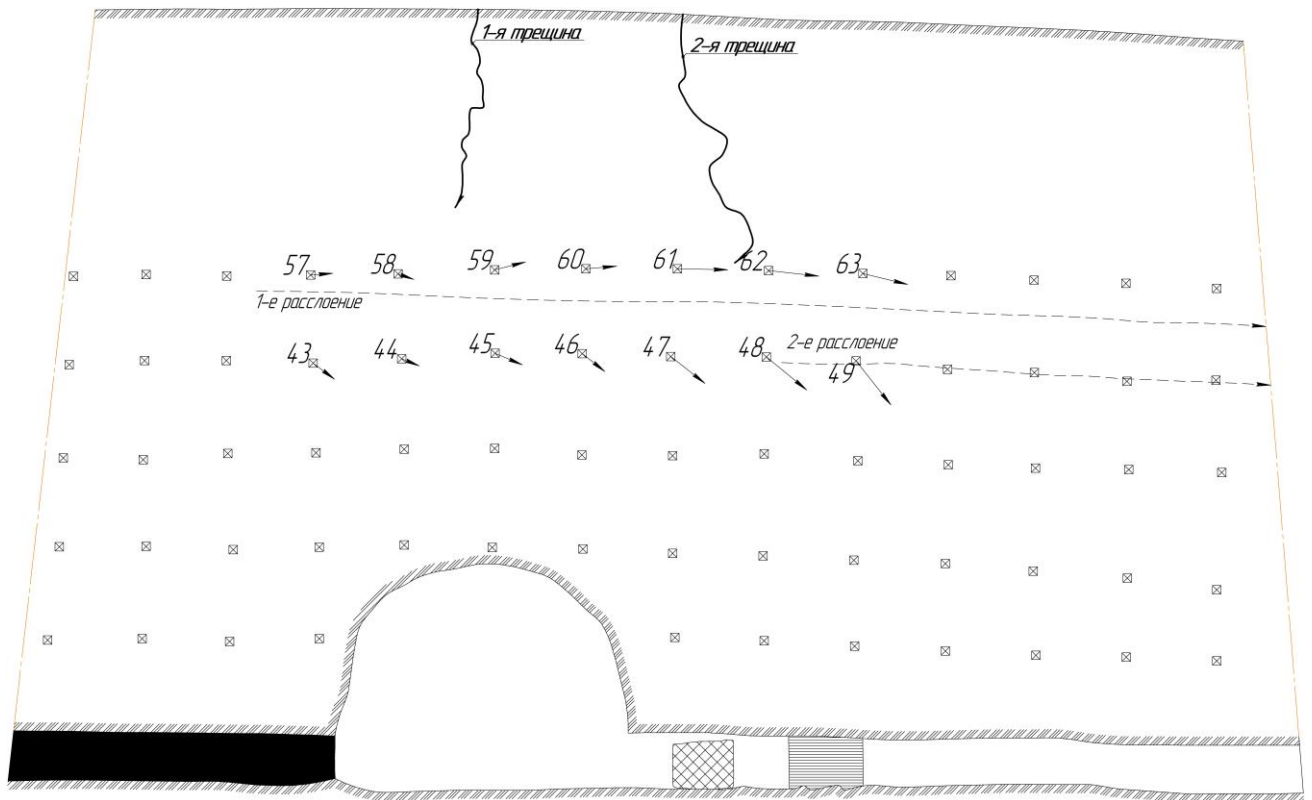


Рисунок 2.7 - Ситуационная картина на момент возникновения устья первой и второй трещины (шахтный вариант)

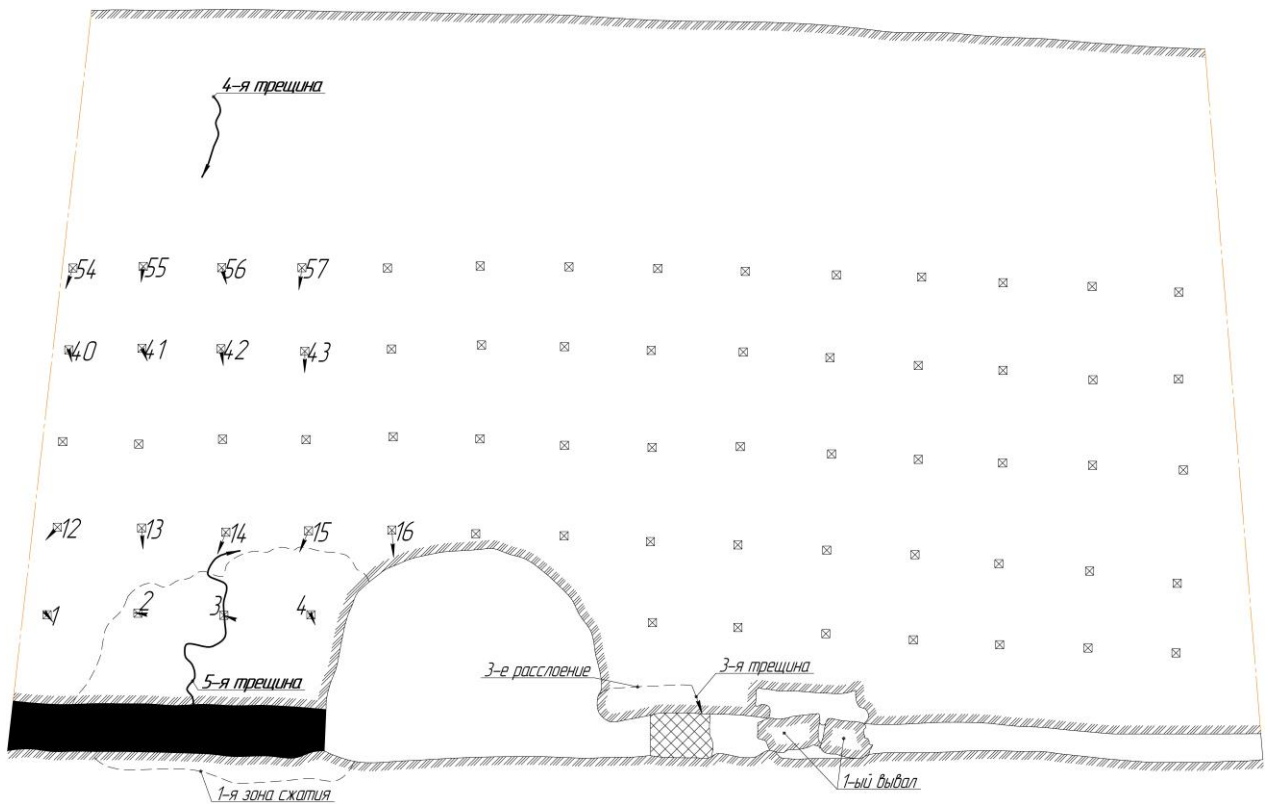


Рисунок 2.8 - Ситуационная картина на момент возникновения устья магистральной трещины (шахтный вариант)

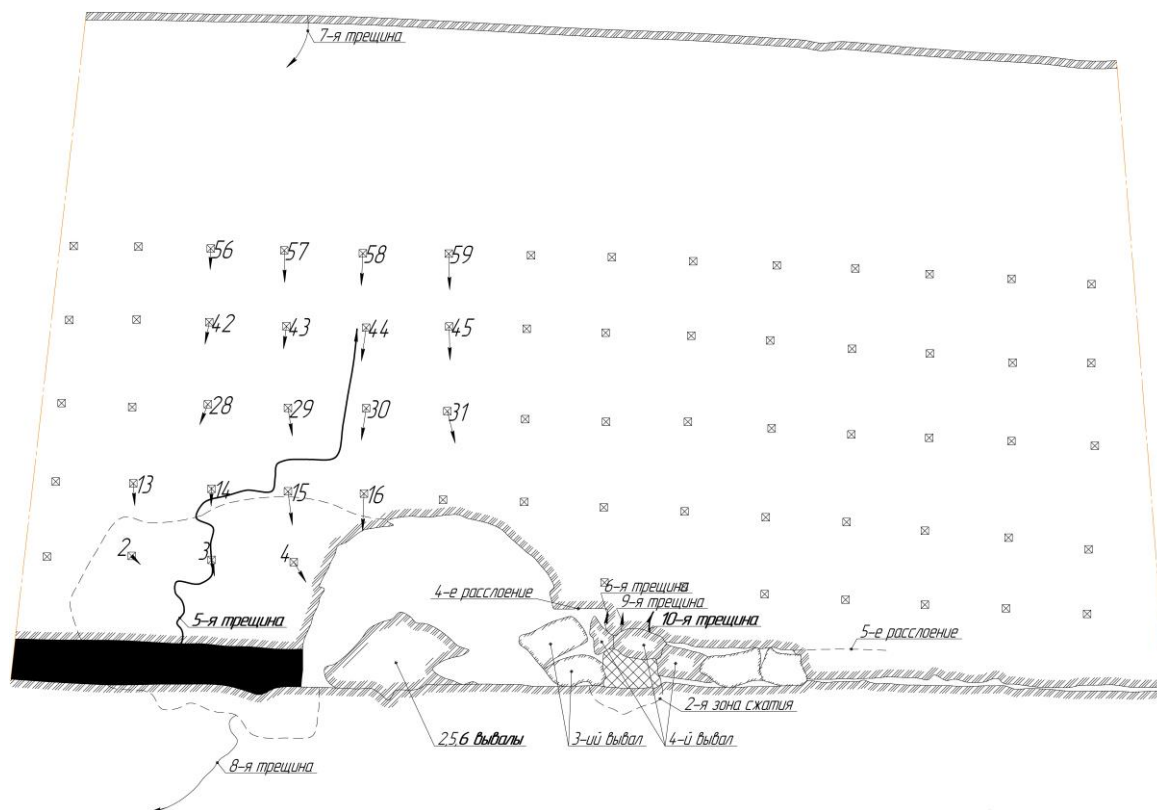


Рисунок 2.9 - Ситуационная картина на момент роста магистральной трещины (шахтный вариант)

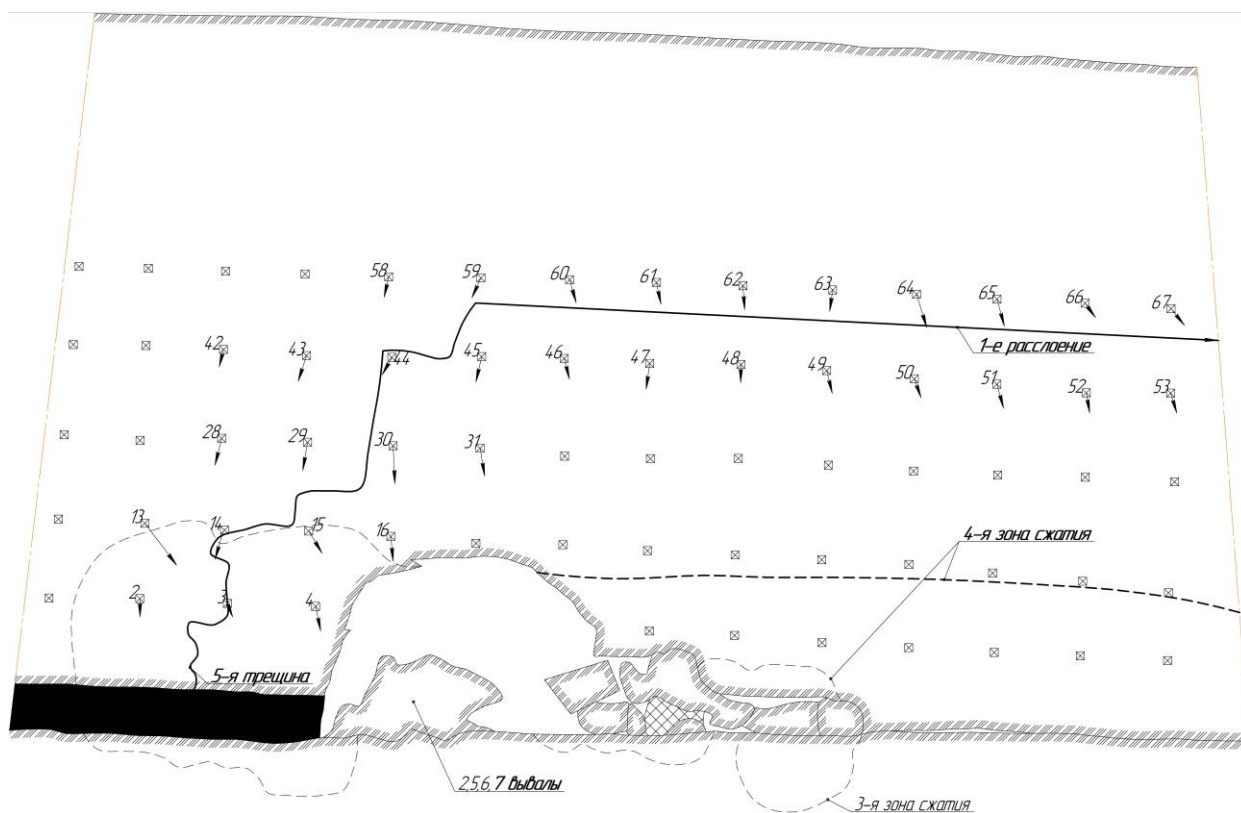


Рисунок 2.10 - Ситуационная картина на момент обрушения консоли основной кровли (шахтный вариант)

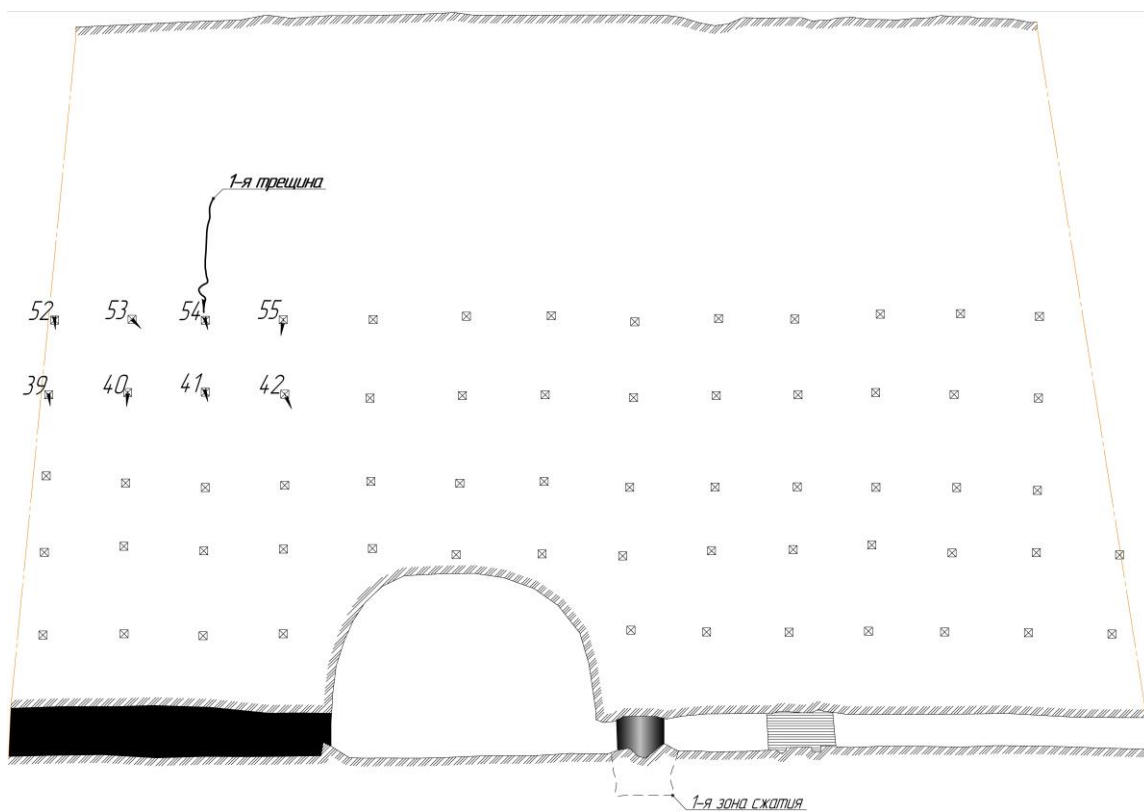


Рисунок 2.11 - Ситуационная картина на момент возникновения устья первой трещины (предлагаемый вариант)

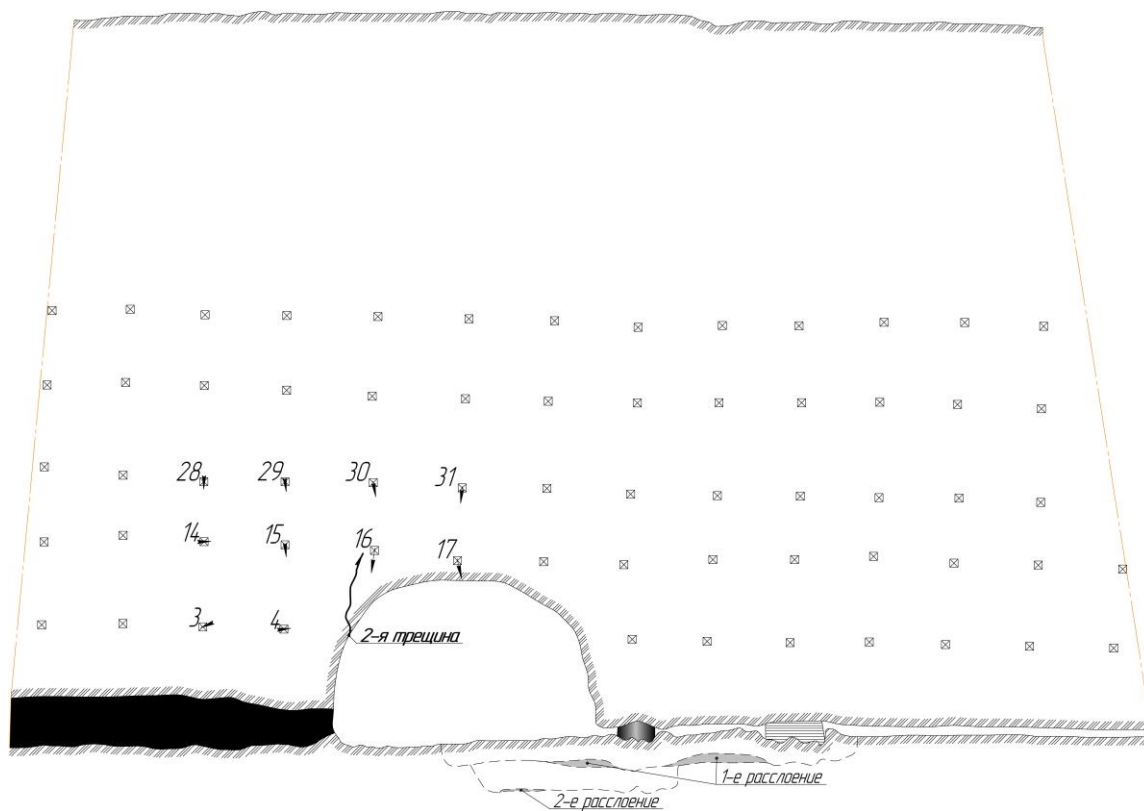


Рисунок 2.12 - Ситуационная картина на момент возникновения устья второй трещины (предлагаемый вариант)

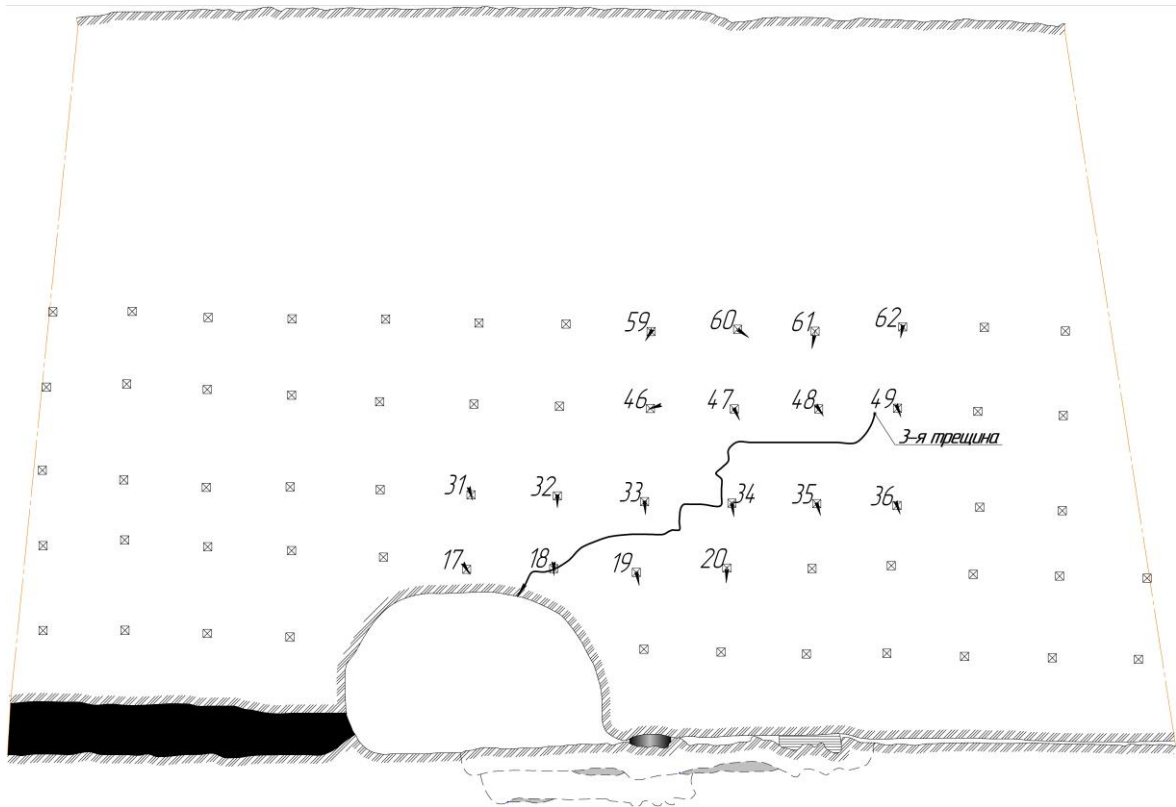


Рисунок 2.13 - Ситуационная картина на момент возникновения устья магистральной трещины (предлагаемый вариант)

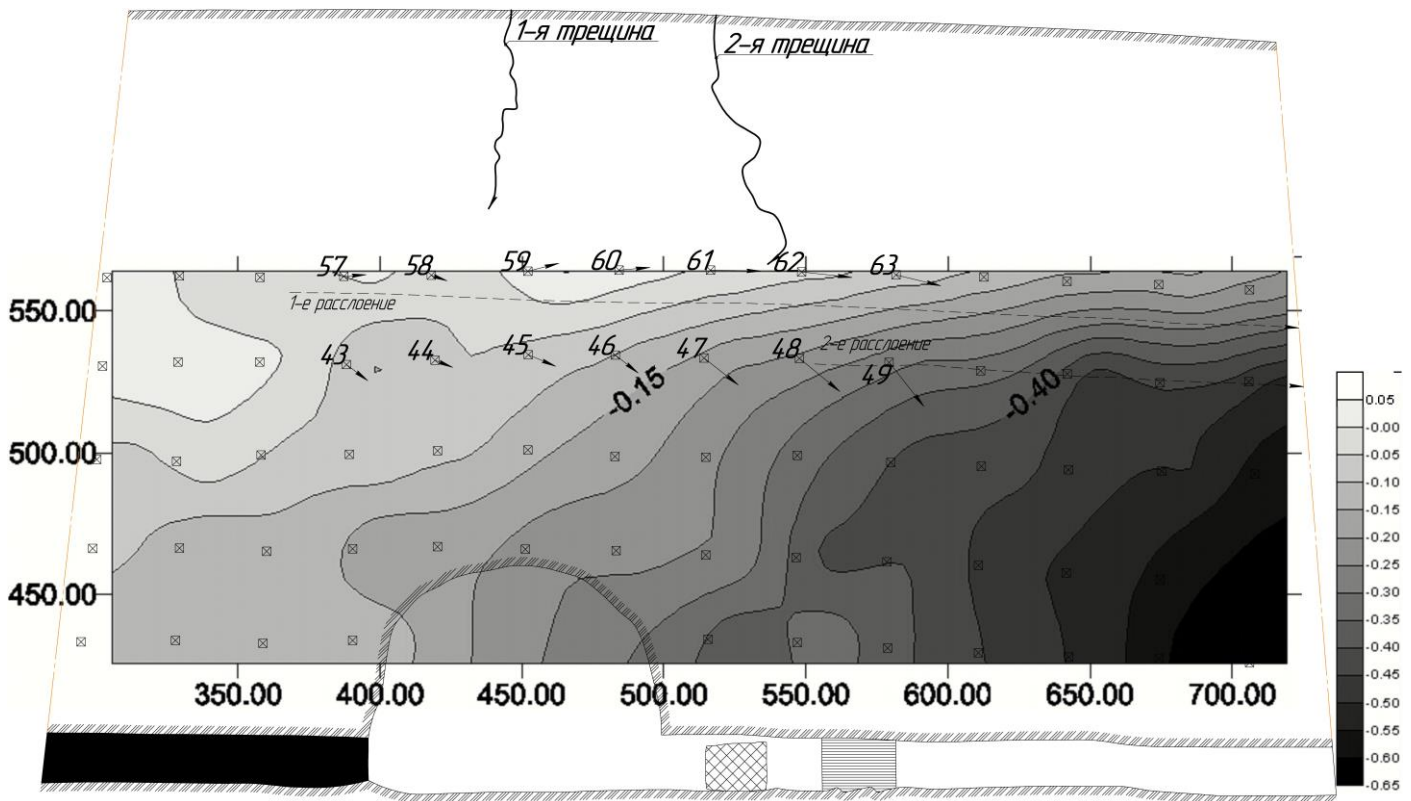


Рисунок 2.14 - Линии равных вертикальных смещений на момент возникновения устья первой и второй трещины (шахтный вариант)



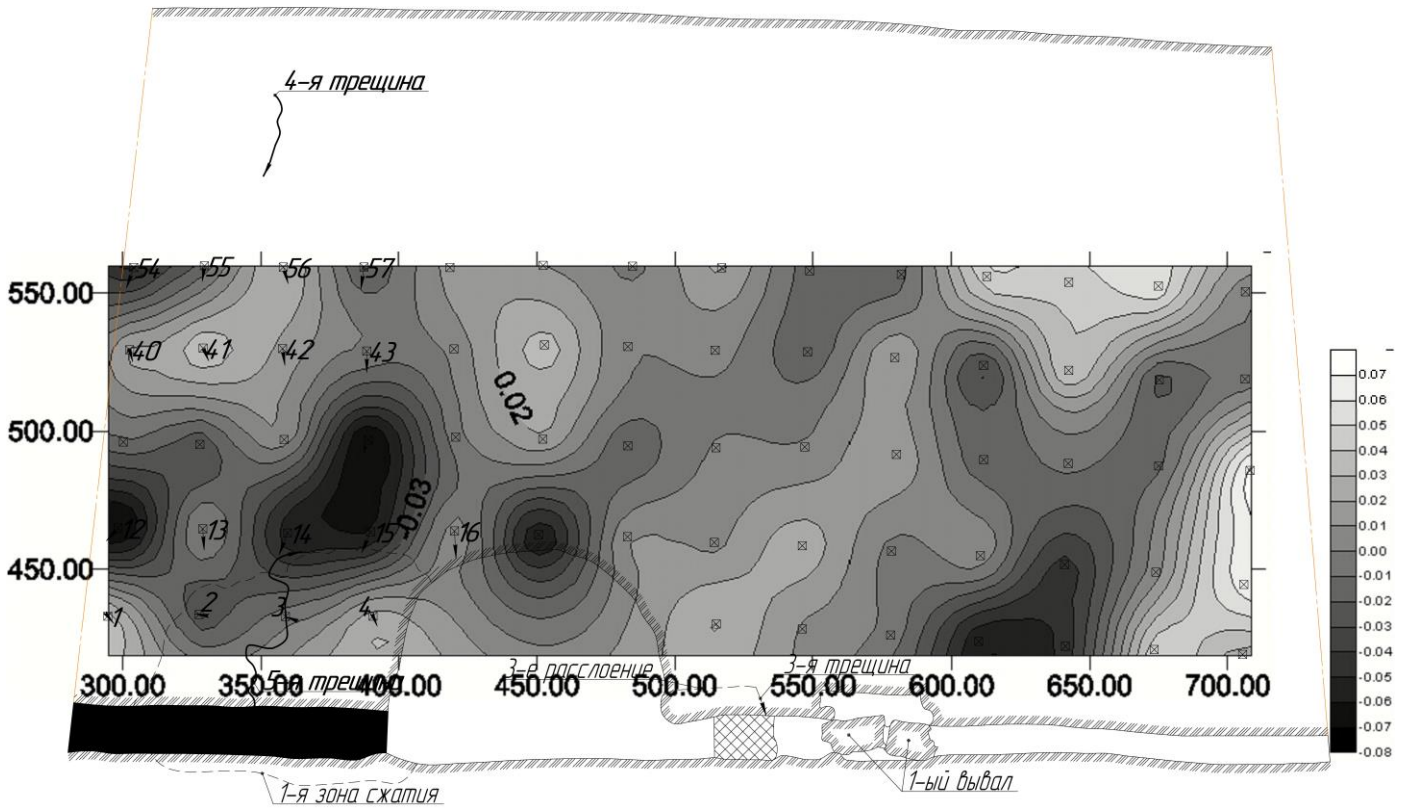


Рисунок 2.15 - Линии равных горизонтальных смещений на момент возникновения устья магистральной трещины (шахтный вариант)

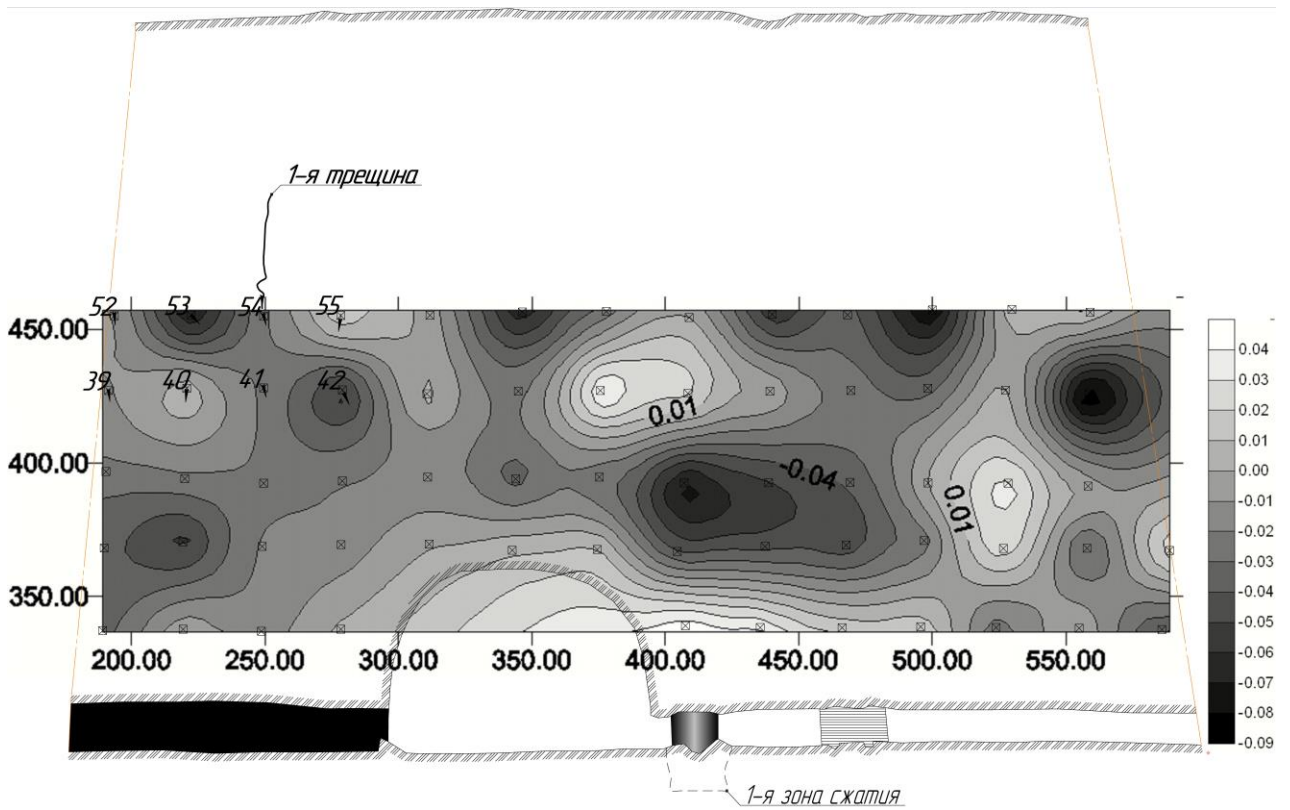


Рисунок 2.16 - Линии равных горизонтальных смещений на момент возникновения устья первой трещины (предлагаемый вариант)

2. тумбы с распором снимают нагрузку с костров: зона сжатия над кострами исчезает, под кострами – уменьшается (зона сжатия 3,4 на рисунке 2.10; рисунки 2.12, 2.13);

3. тумбы с распором снимают нагрузку с пласта со стороны массива: исчезают зоны сжатия в непосредственной кровле и почве (зона сжатия 1 на рисунке 2.8, 2.9), трещины над и под зонами сжатия (трещина 4,8 на рисунках 2.8, 2.9). В результате исчезают вывалы из пласта и из непосредственной кровли над ним (вывалы 2,5,6,7 на рисунке 2.10);

4. тумбы с распором принимают нагрузку на себя: зона сжатия и расслоения под тумбой с распором увеличиваются (зона сжатия 1, расслоение 1,2 на рисунках 2.11, 2.12);

5. как следствие первых четырех пунктов – тумба с распором формирует магистральную трещину не со стороны массива, а со стороны выработанного пространства. Это позволяет уменьшить консоль и вовлечь в обрушение только породы непосредственной кровли. В результате – вес консоли мал для образования зоны сжатия над выработанным пространством после её обрушения (зона сжатия 4 на рисунке 2.10; рисунок 2.13).

Кроме того, благодаря линиям равных смещений удалось установить не только момент включения охранным сооружений в работу, но и то, что:

1. необходимым условием возникновения трещины является не только наличие свободной поверхности или ослабленного контакта между слоями, но и совпадение в одном месте средин диапазонов горизонтальных и вертикальных смещений;

2. рост трещины на вертикальных её участках сопровождается соединением замков линий равных горизонтальных смещений, на горизонтальных участках – соединение замков линий равных вертикальных смещений.

Аналогичные результаты были получены на оставшихся четырёх моделях.

### 2.3. Выводы

На основе проведенных лабораторных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Конструкция охранного сооружения (наличие/отсутствие зазора между охранным сооружением и кровлей) оказывает существенное влияние на место образования и путь развития трещин в породном массиве, а что особенно актуально магистральной трещины. Рост магистральной трещины в основной кровле служит причиной ее обрушения, и обуславливает нагрузку на охраняемую выработку и её деформирование.

2. Включение охранного сооружения в работу сразу после возведения позволяет избавиться от многочисленных расслоений кровли и вывалов над охранным сооружением и в выработку; создать благоприятные условия для возникновения магистральной трещины над охранным сооружением и развития ее в направлении выработанного пространства. Обрушенные породы основной кровли ложатся своим весом на породы непосредственной кровли над выработанным пространством лавы, при этом снижается нагрузка на охранный сооружение и крепь выработки, что приводит к уменьшению нагрузки на охранные сооружения и последующему более устойчивому состоянию выработки.

3. При запоздалом включении в работу охранного сооружения происходит рост трещины со стороны массива, что приводит к обрушению консоли основной кровли, вес пород при этом ложится на охранный сооружение и крепь охраняемой выработки, что вызывает ее деформирование.

## РАЗДЕЛ 3

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОХРАННОГО СООРУЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АКТИВНОГО РАСПОРА РАЗРУШЕННЫХ ПОРОД, ЗАКЛЮЧЁННЫХ В ОПАЛУБКУ

## 3.1. Постановка задачи. Методика исследований

Проведённые исследования позволили сделать вывод о необходимости использования такого охранного сооружения, которое бы быстро включалось в работу. Осуществить это можно путём оставления породы в шахте, выкладки ее в опалубку (жесткую или податливую) и размещения оболочек с НРС (на контакте между ней и кровлей или внутри), которые позволят одновременно убрать зазоры между кровлей и охранным сооружением и создать в нем несущее ядро.

Для реализации этой идеи были предложены две конструкции охранного сооружения. Обе конструкции включают установку опалубки, и заполнение её разрушенной горной породой и использование секционных эластичных оболочек, которые заполняют саморасширяющимся быстротвердеющим раствором. В первой конструкции [178] оболочки с саморасширяющимся быстротвердеющим раствором укладывают сверху охранного сооружения (рисунок 3.1), во второй [179,180-182] – размещают внутри (рисунок 3.2).

Для оценки эффективности предлагаемых конструкций были проведены исследования на структурных моделях. Масштаб моделирования 1:10 [183].

При моделировании предлагаемых конструкций охранного сооружения, а также контрольной без распорного элемента использовали как жесткую, так и податливую опалубку. В качестве жесткой опалубки использовали металлическую цилиндрическую обойму высотой  $H_{оп} = 22\text{см}$  и диаметром  $D_{оп} = 10\text{см}$ . В качестве податливой опалубки – стойки костровой крепи (бруски  $1\text{см} \times 1\text{см} \times 15\text{см}$ ), которые выкладывали высотой  $H_{оп} = 11\text{см}$  и внутренним диаметром  $D_{оп} = 10\text{см}$  и связывали между собой нитками.

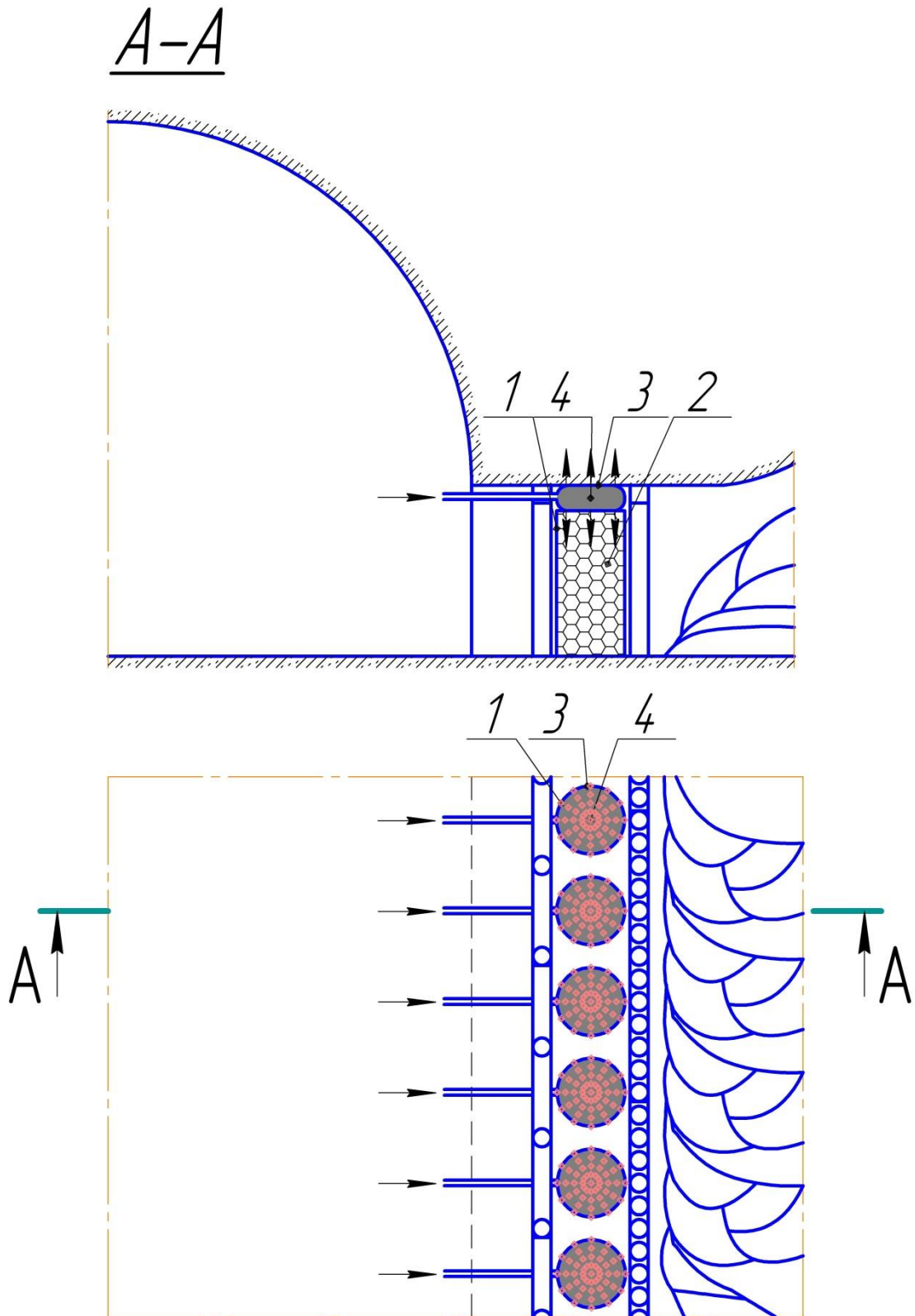


Рисунок 3.1 - Способ охраны подготовительной выработки с помощью двухслойного охранного сооружения: 1 – металлическая цилиндрическая обойма; 2 – порода; 3 – секционная эластичная оболочка; 4 – саморасширяющийся быстротвердеющий раствор

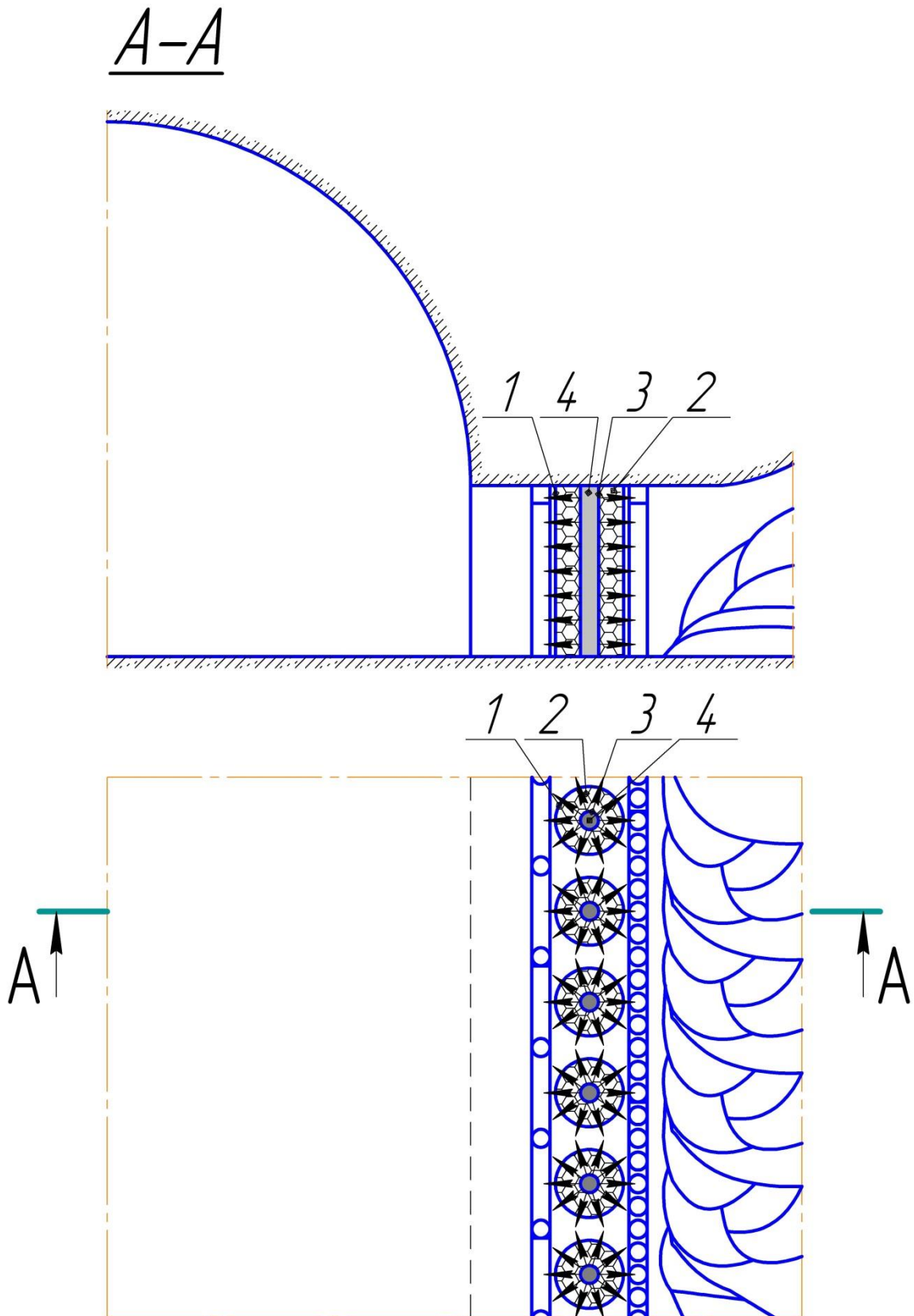


Рисунок 3.2 - Способ охраны подготовительной выработки породными тумбами с принудительным распором породы: 1 – металлическая цилиндрическая обойма; 2 – порода; 3 – цилиндрическая секционная эластичная оболочка; 4 – саморасширяющийся быстротвердеющий раствор

Распорный элемент сверху первого охранного сооружения моделировали эластичным тканевым мешочком диаметром 9см и высотой 1,5см. Количество НРС заливали такое, которое бы полностью заполнило бумажную оболочку цилиндрической формы диаметром  $d_{тр} = 1,6$ см и высотой, равной высоте опалубки. Распорный элемент внутри второго охранного сооружения моделировали тонкой бумажной оболочкой цилиндрической формы диаметром  $d_{тр} = 1,6$ см и высотой, равной высоте опалубки. Внутри оболочки заливали НРС.

Опалубку заполняли породой прочностью 40МПа и диаметром  $d_{пор} = 5 \div 10$ мм. Использование породы в структурном моделировании при исследовании режима работы охранного сооружения было применено не впервые [34,64,79,89,97,168,184-190].

Модель устанавливали на опорную плиту 5-тонного пресса («ЗИМ» тип Р5). Рядом с моделью располагали измерительную шкалу, с помощью которой фиксировали абсолютную деформацию охранного сооружения при его пригрузке с точностью до  $3,3 \cdot 10^{-3}$  м. При испытании контрольных моделей без распорного элемента пригрузку осуществляли сразу, а моделей с распорным элементом – через 20 часов. Пригрузку модели производили в течение 3 секунд, таким образом, чтоб за это время абсолютная деформация охранного сооружения составила 1 мм. Через 1 минуту, в течение которой смещение породы внутри опалубки прекращалось, пригрузку повторяли. В ходе пригрузки фиксировали давление, передаваемое на породу, в начале и конце шага пригрузки. Количество шагов пригрузки, в основном, - 30. Это количество корректировали таким образом, чтобы максимальное давление, развиваемое на прессе, не достигало предельного в 5 тонн.

Модели с жесткой опалубкой представлены на рисунках 3.3-3.8, с податливой – на рисунках 3.9-3.14. Условные обозначения к рисункам 3.3, 3.5, 3.7, 3.9, 3.11, 3.13: 1,2 – верхняя и нижняя плита пресса, 3 – стальной лист, 4 – жесткая (податливая) опалубка, 5 – бумажная (тканевая) оболочка, 6 – НРС, 7 – порода, 8 – секундомер, 9 – линейка, 10 – манометр на прессе.

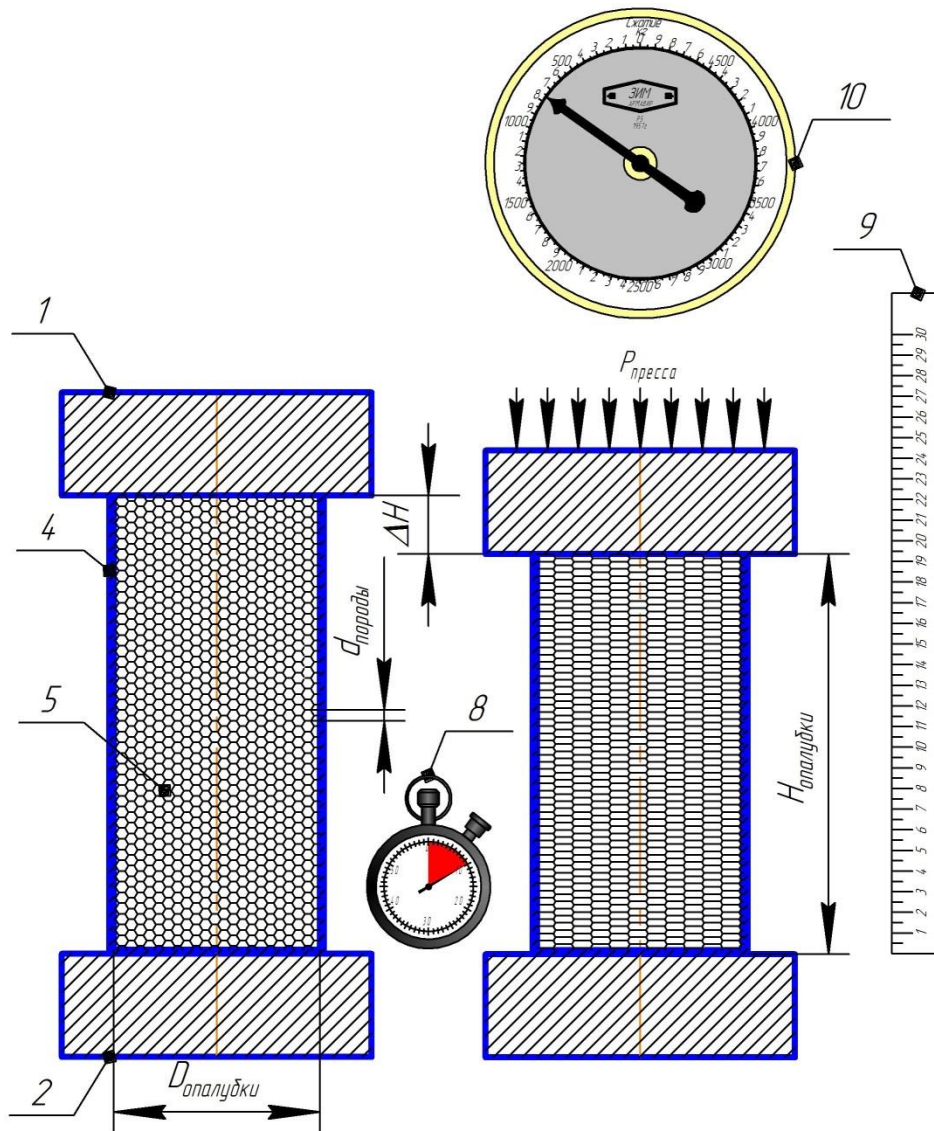


Рисунок 3.3 - Принципиальная схема модели без НРС



Рисунок 3.4 - Вид сверху на модель без НРС после 30 шагов нагружения



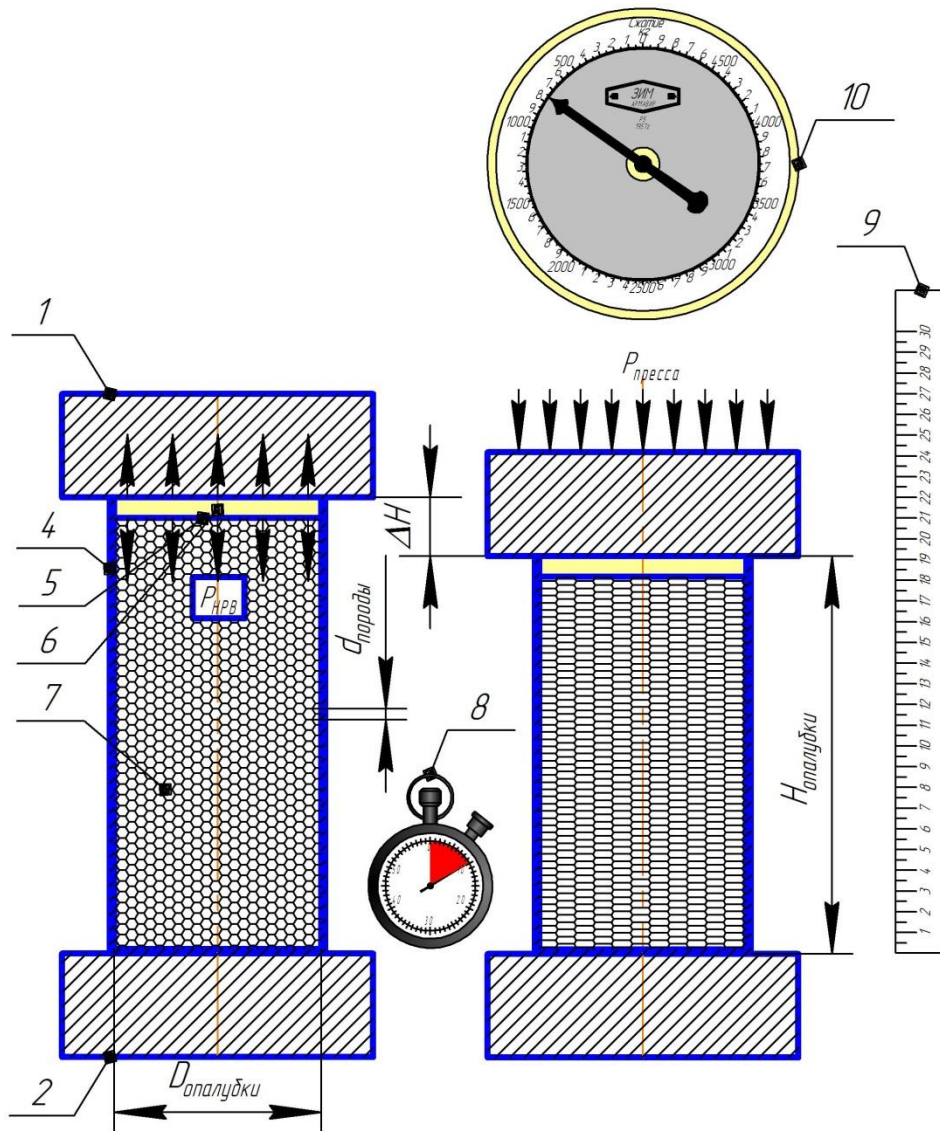


Рисунок 3.5 - Принципиальная схема модели с эластичной оболочкой с НРС

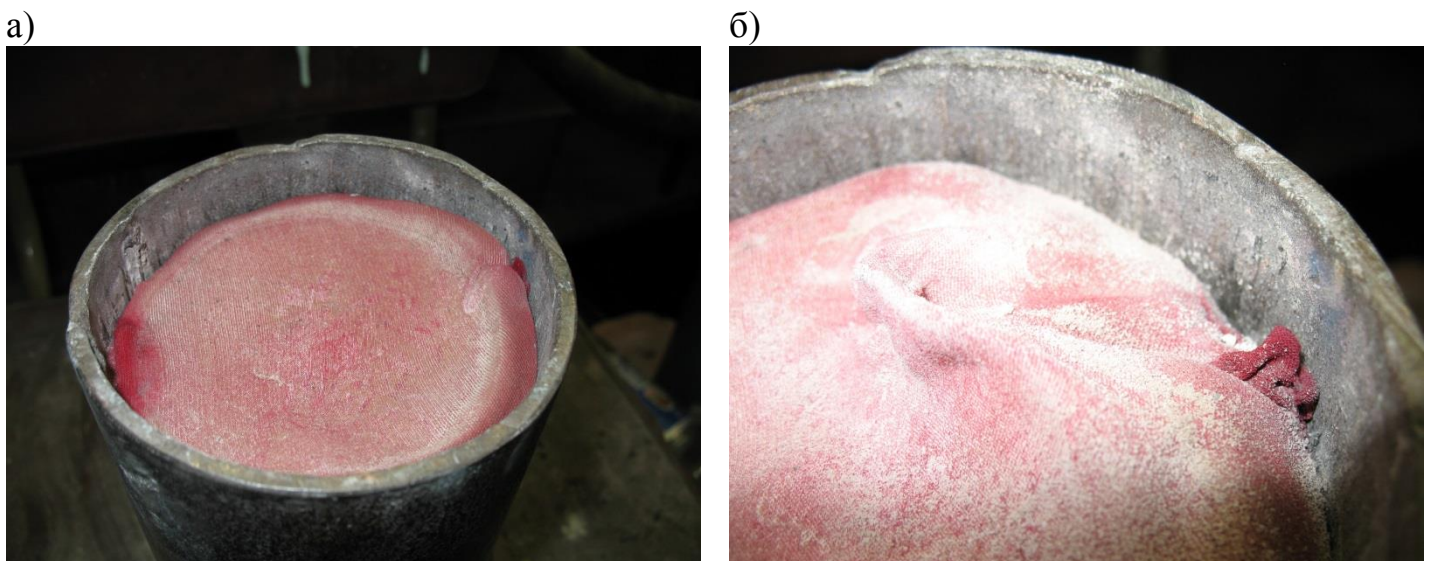


Рисунок 3.6 - Вид сверху на модель с эластичной оболочкой с НРС после 30 шагов нагружения: а) – общий; б) – увеличенный

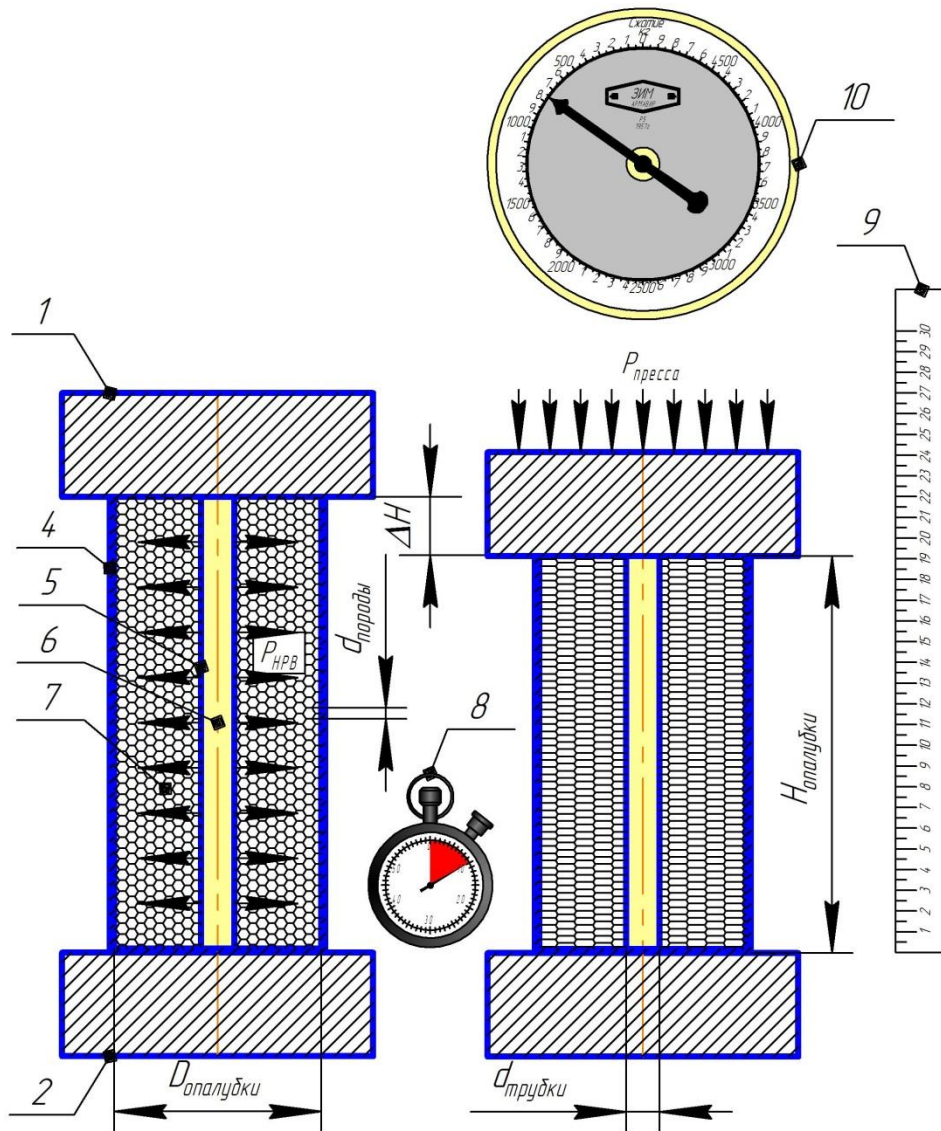


Рисунок 3.7 - Принципиальная схема модели с патроном с НРС

а)



б)



Рисунок 3.8. - Модель с патроном с НРС после 30 шагов нагружения:

а) – вид сверху; б) – патрон с НРС

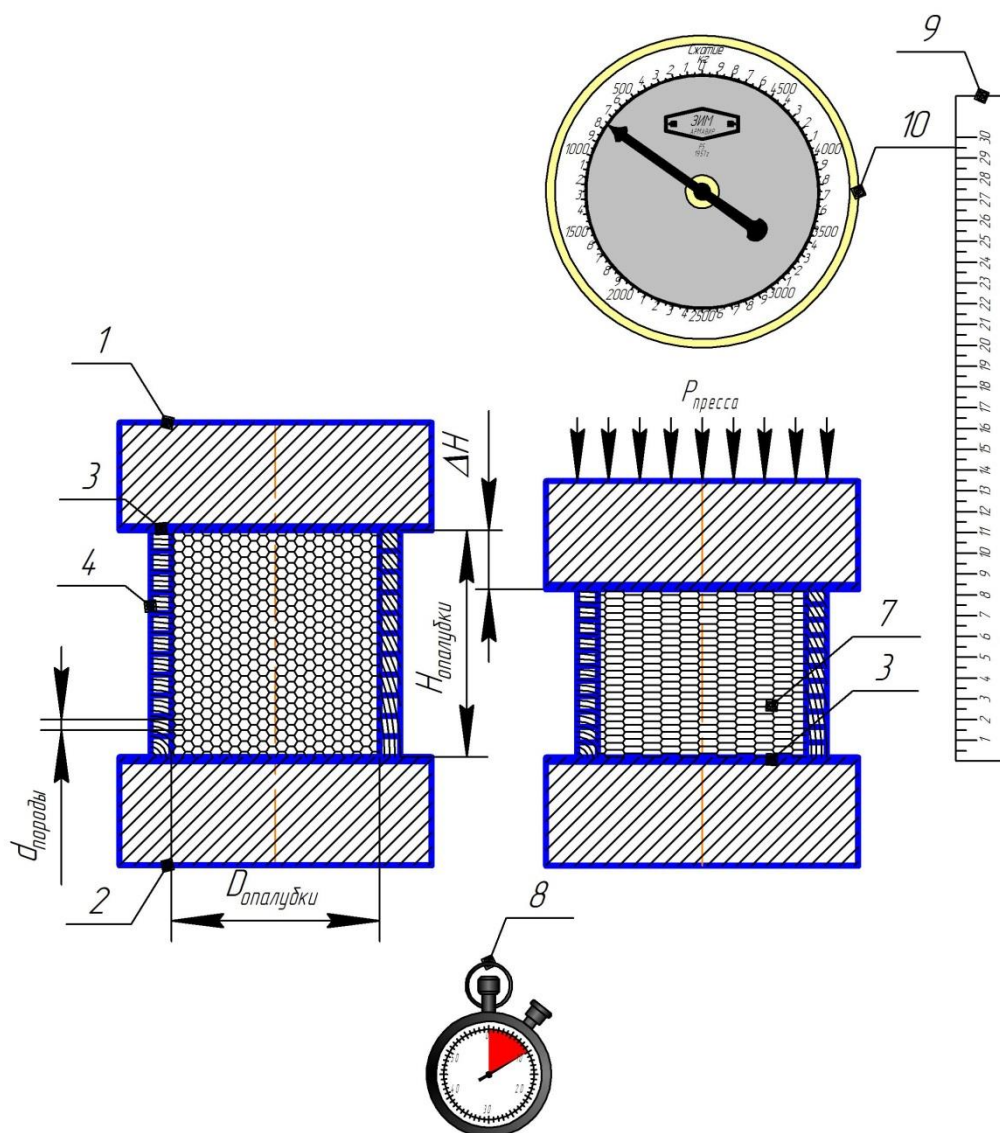


Рисунок 3.9 - Принципиальная схема модели с податливой опалубкой без НРС

а)



б)



Рисунок 3.10 - Модель с податливой опалубкой без НРС  
после 30 шагов нагружения: а) – вид сверху; б) – вид сбоку

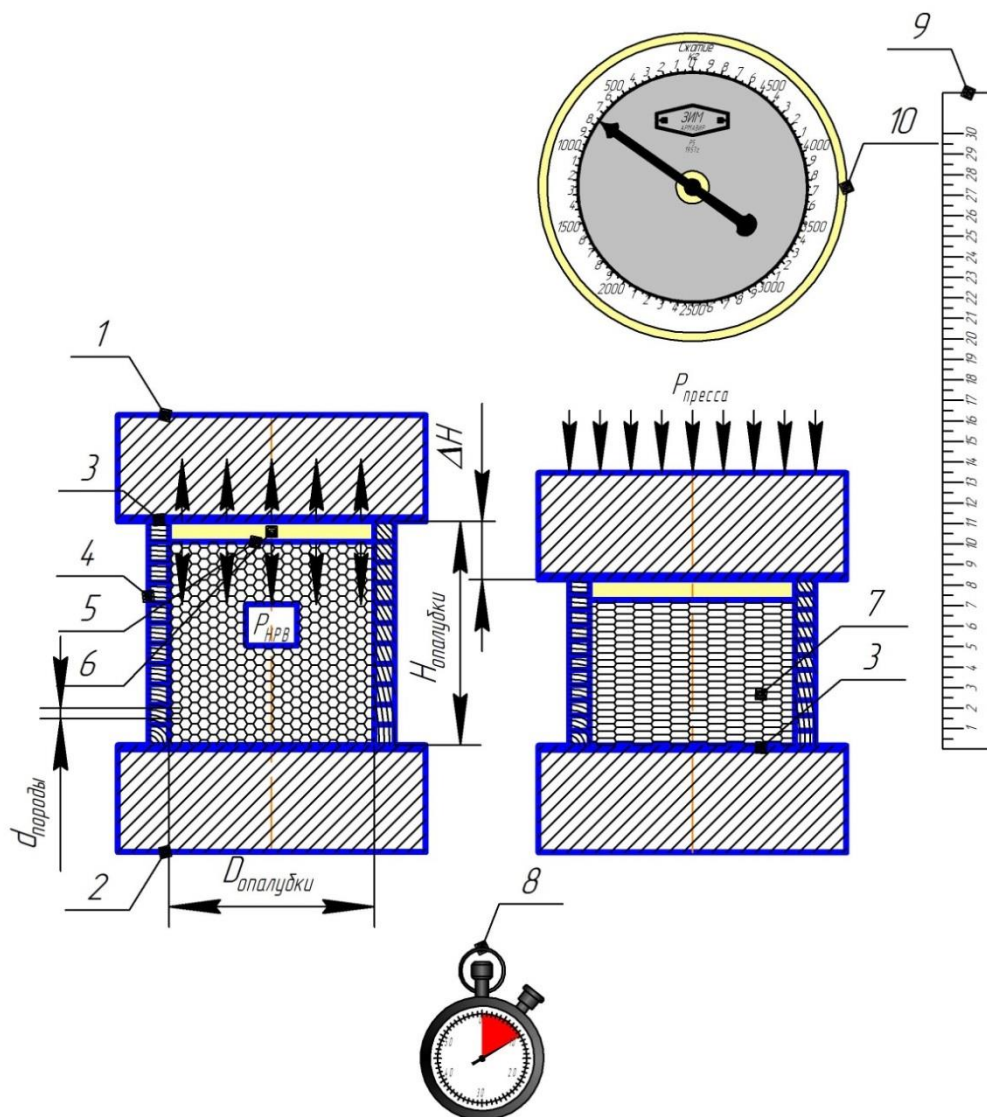


Рисунок 3.11 - Принципиальная схема модели с податливой опалубкой и эластичной оболочкой с НРС



Рисунок 3.12 - Модель с податливой опалубкой и эластичной оболочкой с НРС до нагружения

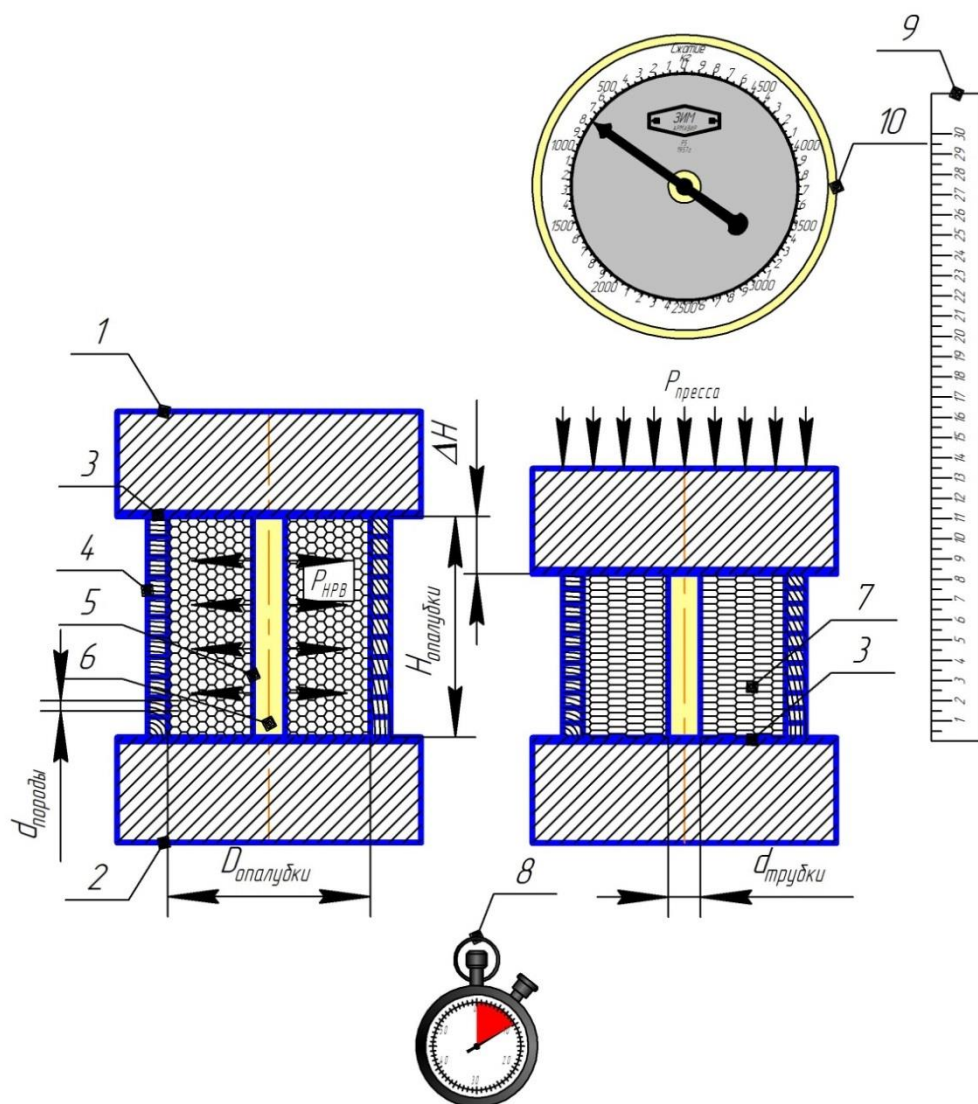


Рисунок 3.13 - Принципиальная схема модели с податливой опалубкой и патроном с НРС

а)



б)



Рисунок 3.14 - Модель с податливой опалубкой и патроном с НРС после 30 шагов нагружения: а) – вид сверху; б) – вид сбоку

### 3.2. Результаты проверки

С помощью абсолютной деформации охранного сооружения  $dH_{\text{оп}}$ , м и времени, в течение которого была приложена нагрузка  $\Delta t$ , сутки определяли относительную деформацию  $\frac{dH_{\text{оп}}}{H_{\text{оп}}}$ , % и предел текучести охранного сооружения  $\frac{dH_{\text{оп}}}{H_{\text{оп}} \cdot \Delta t}$ ,  $\frac{1}{\text{сутки}}$ . Для каждого охранного сооружения строили график зависимости прилагаемой нагрузки  $P_{\text{пресса}}$ , МПа от относительной деформации охранного сооружения  $\frac{dH_{\text{оп}}}{H_{\text{оп}}}$ , % (площадь под графиком – несущая способность), а также график зависимости предела текучести  $\frac{dH_{\text{оп}}}{H_{\text{оп}} \cdot \Delta t}$ ,  $\frac{1}{\text{сутки}}$  от прилагаемой нагрузки  $P_{\text{пресса}}$ ,  $\frac{\text{Т}}{\text{м}^2}$  (площадь под графиком – импульс сопротивления разрушению).

Результаты исследований представлены на рисунках 3.15-3.20. Анализ результатов позволил сделать следующие выводы:

#### 1. при использовании жесткой опалубки:

- распорный элемент сверху охранного сооружения увеличивает несущую способность в 1,96 раза (рисунок 3.15), импульс сопротивления разрушению - в 1,62 раза, давление, с которого начинается течение охранного сооружения под нагрузкой в 31,2 раза (рисунок 3.16);

- распорный элемент внутри охранного сооружения увеличивает несущую способность в 1,42 раза (рисунок 3.17), импульс сопротивления разрушению - в 1,45 раза, давление, с которого начинается течение охранного сооружения под нагрузкой в 7,5 раз (рисунок 3.18);

#### 2. при использовании податливой опалубки:

- распорный элемент сверху охранного сооружения после срабатывания НРС раздвигает стойки костровой крепи;

- распорный элемент внутри охранного сооружения уменьшает несущую способность в 12,15 раза (рисунок 3.19), увеличивает импульс сопротивления разрушению - в 1,03 раза и давление, с которого начинается течение охранного сооружения под нагрузкой в 1,13 раз (рисунок 3.20).

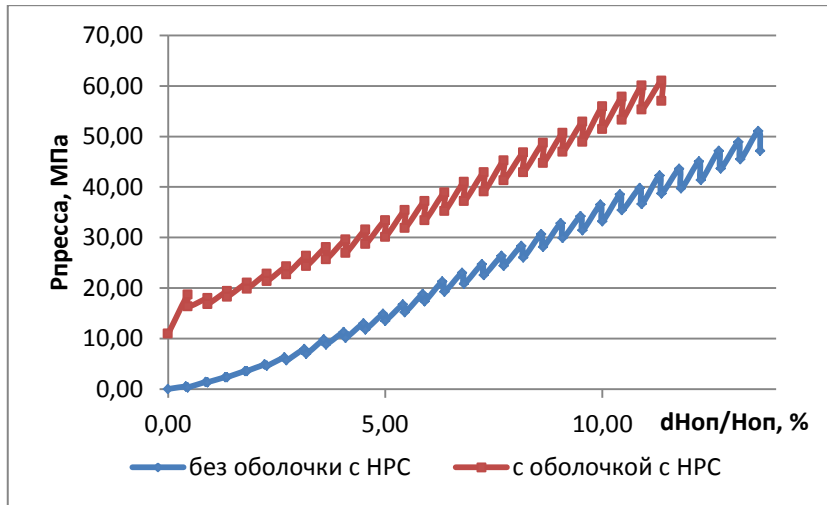


Рисунок 3.15 - Несущая способность тубы с жесткой опалубкой

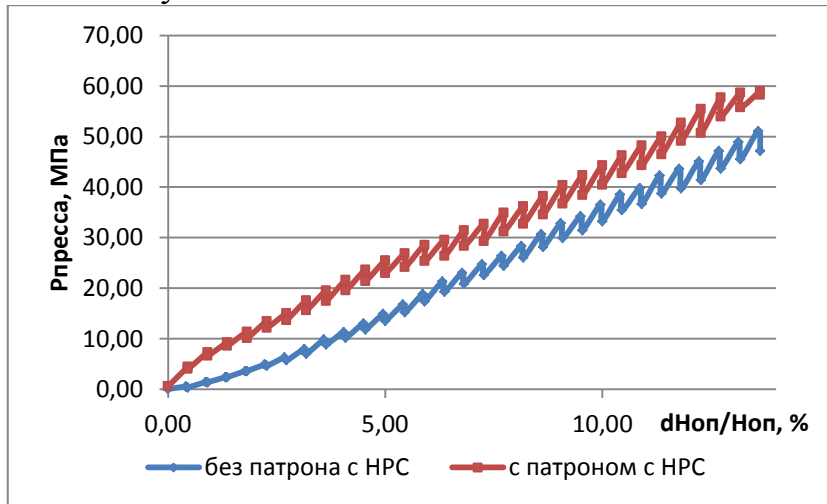


Рисунок 3.17 - Несущая способность тубы с жесткой опалубкой

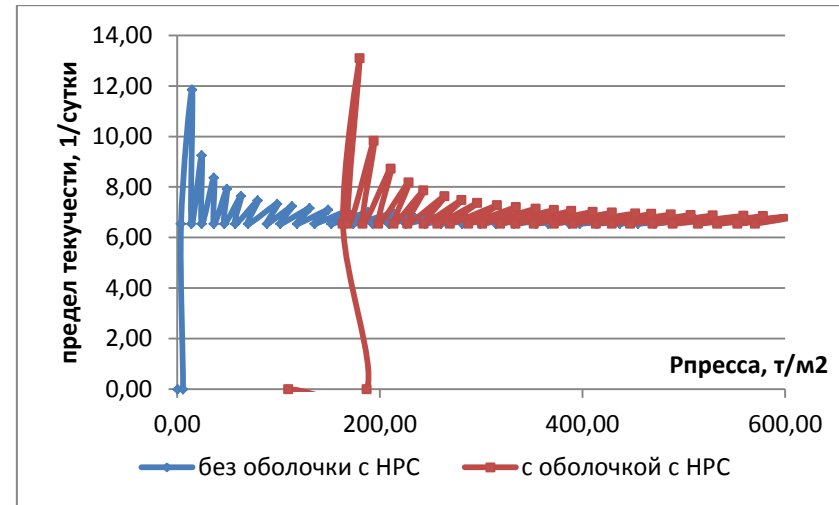


Рисунок 3.16 - Импульс сопротивления разрушению тубы с жесткой опалубкой

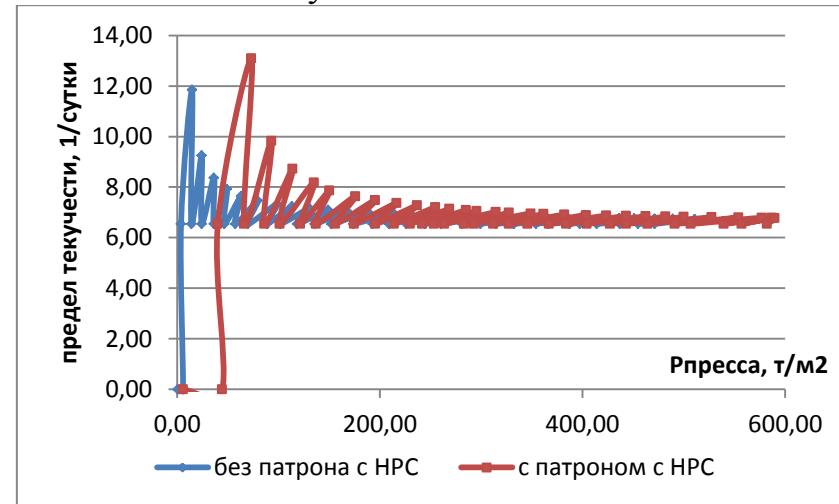


Рисунок 3.18 - Импульс сопротивления разрушению тубы с жесткой опалубкой

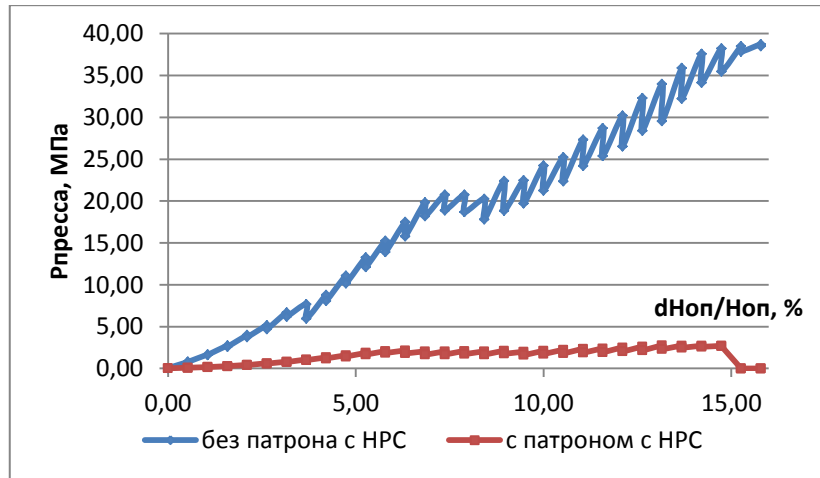


Рисунок 3.19 - Несущая способность тумбы с податливой опалубкой

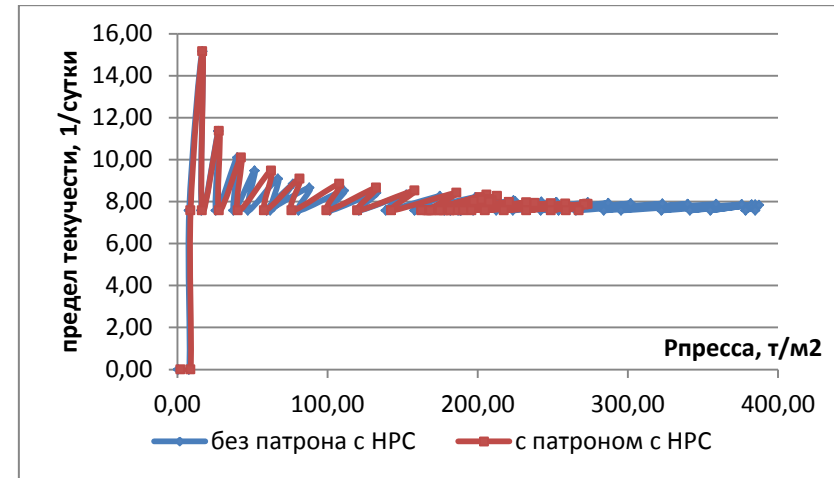


Рисунок 3.20 - Импульс сопротивления разрушению тумбы с податливой опалубкой



### 3.3. Регрессионный анализ

Для наиболее эффективного варианта охранного сооружения с жесткой опалубкой и распорным элементом сверху с помощью регрессионного анализа на временных рядах определяли степень влияния параметров охранного сооружения на модуль его деформации  $E_{\text{деф}} = \frac{P_{\text{пресса}}}{\frac{dH_{\text{оп}}}{H_{\text{оп}}}}$ , МПа.

Варьируемыми параметрами в модели были: высота опалубки  $H_{\text{оп}} = 11 \div 22$  см, диаметр опалубки  $D_{\text{оп}} = 8,5 \div 15$  см, диаметр породы  $d_{\text{пор}} = 5 \div 10$  мм;  $10 \div 20$  мм, диаметр патрона (количество НРС)  $d_{\text{пат}} = 1,1 \div 1,6$  см.

Для того чтобы достигнуть максимальной точности измерений при минимальном количестве проведенных опытов и сохранении статистической достоверности результатов был составлен план эксперимента с использованием метода латинских кубов [191], при этом применяли метод Монте-Карло [192], для того чтобы случайным образом задать как количество пар чисел, которые нужно обменять, так и места их расположения (т.е. номера строк).

Регрессионный анализ осуществляли в программной среде Statistica5.0 с помощью модуля Nonlinear Estimation [193,194] и использовали как аддитивную, так и мультипликативную модели [195]. Для частей модели, описываемые одним параметром, применяли следующие виды зависимостей (таблица В.1) и определяли, какой вид модели, с какими видами зависимости внутри каждой своей части даст наибольшую долю объясненной дисперсии.

При выборе вида зависимости внутри каждой части модели руководствовались следующими соображениями:

1. по возможности область определения должна быть любым действительным числом;
2. по возможности вид зависимости должен иметь наименьшее число коэффициентов;

3. по возможности вид зависимости при предсказании зависимой переменной не должен давать отрицательные значения при небольшой величине независимой переменной;

4. использование данного вида зависимости должно повышать коэффициент детерминации, по сравнению с коэффициентом детерминации при использовании прямой.

Анализ результатов показал, что лучшим вариантом является аддитивная модель с квадратичным видом зависимости для высоты, диаметра опалубки, диаметра патрона и прямым – для диаметра породы. Этот вариант имеет очень высокую долю объясненной дисперсии ( $R_{adj}^2 = 0,993 > 0,9$ ) и хороший уровень точности ( $A = 6,14\% < 10\%$  [196-198]):

$$E_{\text{деф}} = (15,498 - 18,699 \cdot D_{\text{оп}} + 6,578 \cdot D_{\text{оп}}^2) \cdot (18,304 - 15,905 \cdot H_{\text{оп}} + 6,015 \cdot H_{\text{оп}}^2) \times \\ \times (4,839 - 53,936 \cdot d_{\text{пат}} + 243,505 \cdot d_{\text{пат}}^2) \cdot (5,866 - 12,995 \cdot d_{\text{пор}}), \text{ МПа (3.1)}$$

Параметры охранного сооружения по степени их влияния на модуль деформации расположились в следующем порядке: диаметр опалубки  $D_{\text{оп}}$ , м – 49,36% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , высота опалубки  $H_{\text{оп}}$ , м – 26,84% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , диаметр патрона  $d_{\text{пат}}$ , м – 18,73% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , диаметр породы  $d_{\text{пор}}$ , м – 5,07% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ .

### 3.4. Выводы

1. Было установлено, что самым эффективным из предложенных охранных сооружений является тумба с распором. Использование жёсткой опалубки и распорного элемента сверху охранного сооружения увеличивает его несущую способность в 1,96 раза, импульс сопротивления разрушению - в 1,62 раза, давление, с которого начинается течение охранного сооружения под нагрузкой в 31,2 раза.

2. Для тумбы с распором был определён вид зависимости между его параметрами ( $D_{\text{оп}}, H_{\text{оп}}, d_{\text{пат}}, d_{\text{пор}}$ ) и модулем его деформации ( $E_{\text{деф}}$ ). Полученная

зависимость имеет очень высокую долю объяснённой дисперсии ( $R_{adj}^2 = 0,993$ ) и хороший уровень точности ( $A = 6,14\%$ ).

3. Параметры охранного сооружения по степени их влияния на модуль деформации расположились в следующем порядке: диаметр опалубки  $D_{оп, м}$  – 49,36% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , высота опалубки  $H_{оп, м}$  – 26,84% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , диаметр патрона  $d_{пат, м}$  – 18,73% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , диаметр породы  $d_{пор, м}$  – 5,07% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ .

## РАЗДЕЛ 4

ШАХТНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОЯВЛЕНИЕМ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА  
СОПРЯЖЕНИИ ЛАВЫ С КОНВЕЙЕРНЫМ ШТРЕКОМ

## 4.1. Постановка задачи

В разделе 2 была доказана необходимость использования такого охранного сооружения, которое бы быстро включалось в работу. В качестве такого охранного сооружения была предложена тумба с распором.

Для того чтобы определить ее эффективность, был рекомендован метод компьютерного моделирования взаимодействия предложенного охранного сооружения с вмещающими породами внутри участка массива, включающего выемочную транспортную выработку.

Компьютерное моделирование является одним из эффективных методов изучения сложных систем. Логичность и формализованность компьютерных моделей позволяет исследовать отклик моделируемой физической системы на изменения ее параметров и начальных условий. Компьютерные модели проще и удобнее исследовать в силу их возможности проводить т.н. вычислительные эксперименты, в тех случаях, когда реальные эксперименты затруднены из-за финансовых или физических препятствий или могут дать непредсказуемый результат. Это достоинство позволит расширить участок массива, рассмотренный в разделе 2 и включить в него лаву и участок выработки впереди нее.

Исходными данными для численного моделирования являются среди прочего модули деформации средств крепления в рабочем режиме. К средствам крепления относятся механизированная крепь в лаве и индивидуальная – в нишах и в выработке при проведении ее за лавой. Для того чтобы определить модуль деформации крепи в рабочем режиме необходимо разделить рабочее сопротивление крепи на относительную деформацию её стоек. Рабочее сопротивление крепи – справочная величина. Относительная деформация стоек зависит от абсолютной деформации, которая равна конвергенции пород, в том месте, в котором

установлена крепь. Конвергенция в свою очередь в разных горно-геологических условиях – разная. Для того чтобы определить конвергенцию пород были проведены шахтные наблюдения в условиях шахты «Рассвет-1» (рисунок 2.2, приложение Г), где тумба с распором могла бы быть использована в качестве основного охранного сооружения, и в условиях шахты «Щегловская–Глубокая» (рисунок 4.1, приложение Д), где она могла бы быть использована в качестве вспомогательного охранного сооружения. В процессе подготовки к шахтным наблюдениям возникла идея использовать динамометры 45Д-135 для определения давления кровли на охранное сооружение. Для того чтобы использовать динамометр, необходимо чтобы зазор между кровлей и охранным сооружением не превышал его толщины. На обеих шахтах это условие не выполнялось (рисунок 4.2).

Тогда было принято решение установить динамометры между гидравлической стойкой, установленной без предварительного распора рядом с охранным сооружением, и кровлей. Перед установкой динамометров был сделан экспресс-замер конвергенции пород в месте предполагаемой установки. Выяснилось, что в условиях шахты «Рассвет-1» конвергенция была такой, что гидравлическая стойка, установленная без распора, за подвигание лавы, равное шагу последующих посадок основной кровли (15м), не выйдет на рабочий режим. В таком случае было принято решение использовать динамометры только на шахте «Щегловская–Глубокая».

#### 4.2. Методика исследований и результаты шахтных наблюдений

Схема установки динамометров на шахте «Щегловская–Глубокая» представлена на рисунке 4.1 (датчик №4, 9, 5). Замеры давления кровли на гидравлические стойки (рисунок 4.3) производились первые 2 смены каждые 30 минут, последующие 12 смен – 1 раз в смену. Такое количество смен понадобилось для того, чтобы первый к лаве датчик оказался возле места погашения запасного выхода. Кроме давления осуществлялся замер высоты выработанного пространства возле стойки с динамометром. Результаты замеров представлены на рисунках 4.4-4.7.

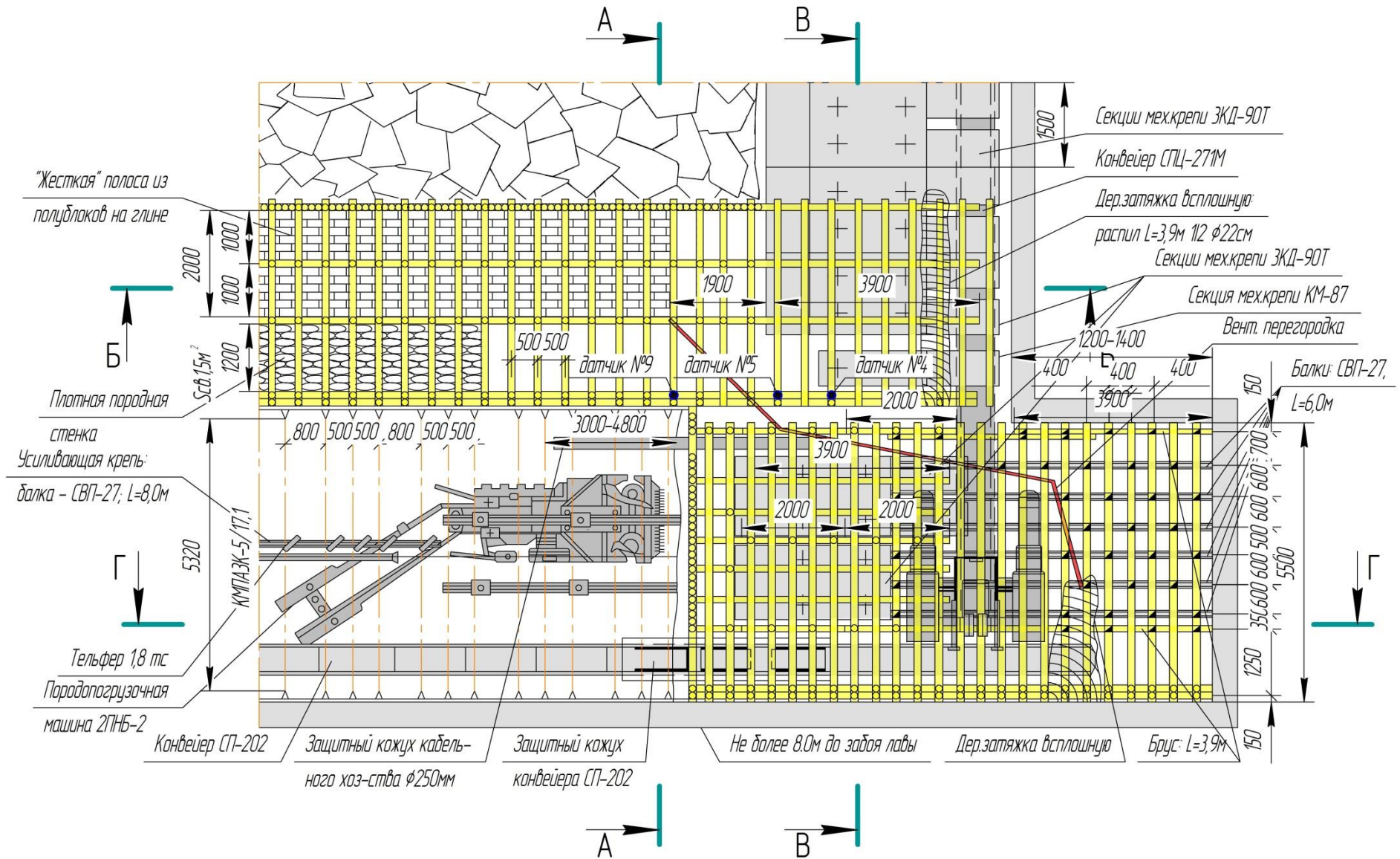


Рисунок 4.1 - ПАО Ш/У «Донбасс» шахта «Щегловская-Глубокая». Паспорт выемочного участка 5 западной лавы пл. т<sub>3</sub> гор. 915м. Нижняя часть лавы. План. Схема установки динамометров (шахтный вариант)

а)



б)



Рисунок 4.2 - Зазор между кровлей и охранным сооружением:  
а) – для шахты «Рассвет-1»; б) – для шахты «Щегловская–Глубокая»;



Рисунок 4.3 - Гидравлическая стойка с динамометром

Анализ графиков (рисунки 4.4, 4.6) позволяет сделать вывод о том, что гидравлические стойки с динамометрами №4 и №9 вышли на рабочий режим.

Поскольку на шахте «Рассвет-1» динамометры не использовались, единственным наблюдением являлся замер высоты выработанного пространства по линии БЖБТ (I-I), костров (II-II) и органного ряда (III-III) (рисунок 2.2). Результаты замеров представлены на рисунке 4.8.

### 4.3. Результаты обработки замеров

Обработка итогов наблюдений в условиях шахты «Щегловская–Глубокая» производилась следующим образом. Используя результаты замеров высоты выработанного пространства возле стойки с динамометром, была определена абсолютная конвергенция. Разделив абсолютную конвергенцию на мощность пласта у груди очистного забоя, была получена относительная деформация контура очистного забоя возле стойки, а, следовательно, относительная деформация гидравлической стойки. Используя угол наклона графика (рисунки 4.4, 4.6), добавив предварительные распор и ограничив рабочую характеристику давлением в рабочем режиме, были построены рабочие характеристики всех средств крепления, входящие в состав паспорта крепления и управления кровлей в лаве (рисунок 4.9). Согласно рабочей характеристике был рассчитан модуль деформации в рабочем режиме.

В качестве примера рассмотрим расчет модуля деформации механизированной крепи ЗКД90Т в рабочем режиме, входящей в состав паспорта крепления и управления кровлей в лаве. Согласно [199] коэффициент начального распора должен быть не менее 0,6-0,8. Удельное сопротивление на  $1\text{ м}^2$  поддерживаемой площади для ЗКД90Т не менее 0,8МПа [200]. Тогда начальный распор равен  $0,8 \cdot 0,8\text{ МПа} = 0,64\text{ МПа}$ . Добавим предварительный распор 0,64МПа к графику 4.4, 4.6 и ограничим рабочую характеристику давлением в рабочем режиме 0,8МПа, получим, что крепь выйдет на рабочий режим на расстоянии от лавы 3,65м в течение 0,9 часов (рисунки 4.10, 4.11).



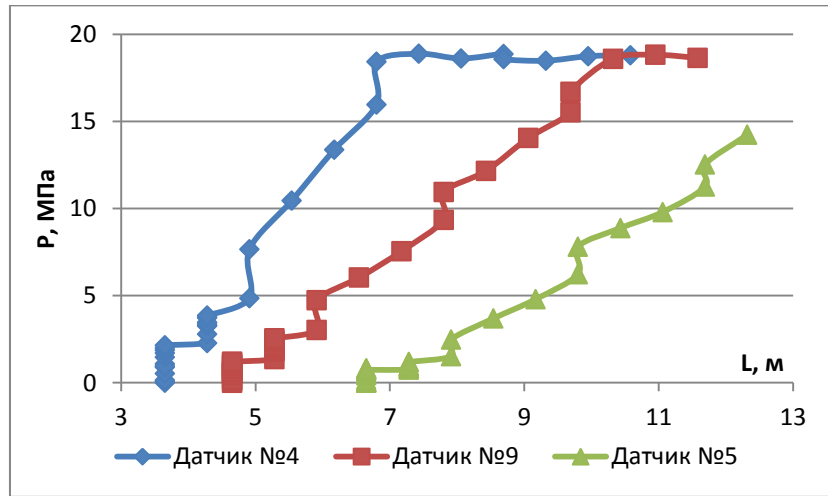


Рисунок 4.4 - График зависимости давления на гидравлическую стойку  $P$ , МПа от расстояния от точки замера до лавы  $L$ , м

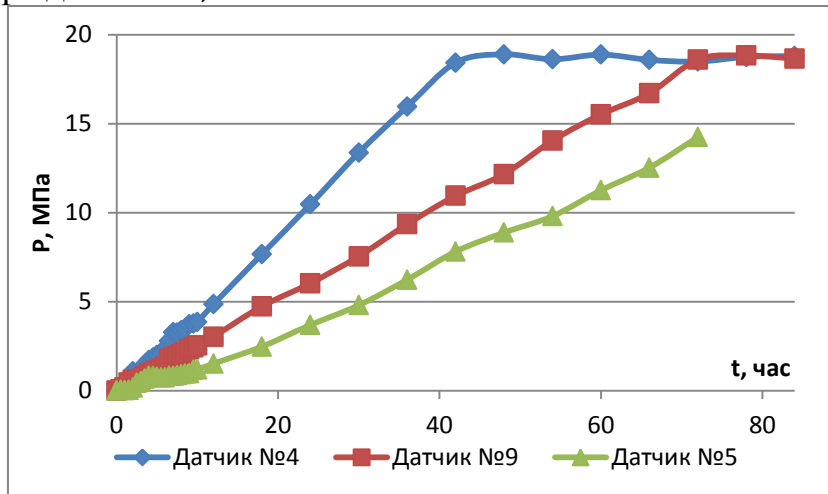


Рисунок 4.6 - График зависимости давления на гидравлическую стойку  $P$ , МПа от времени от начала замера  $t$ , час

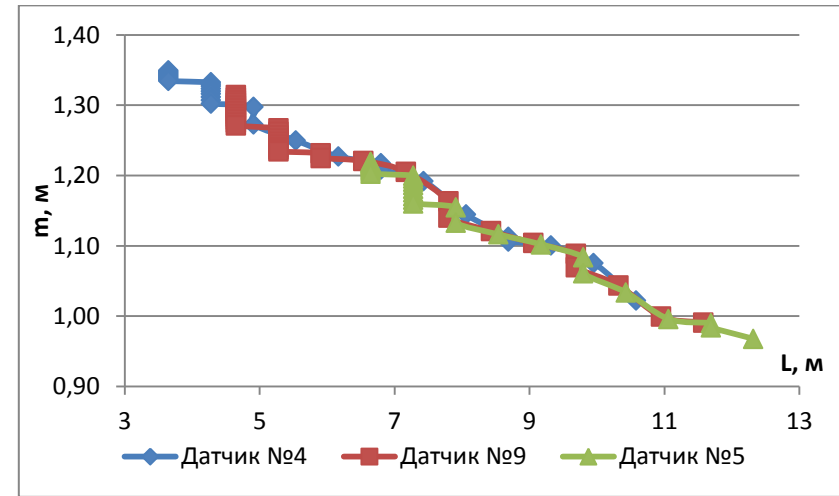


Рисунок 4.5 - График зависимости высоты выработанного пространства возле стойки с динамометром  $m$ , м от расстояния от точки замера до лавы  $L$ , м

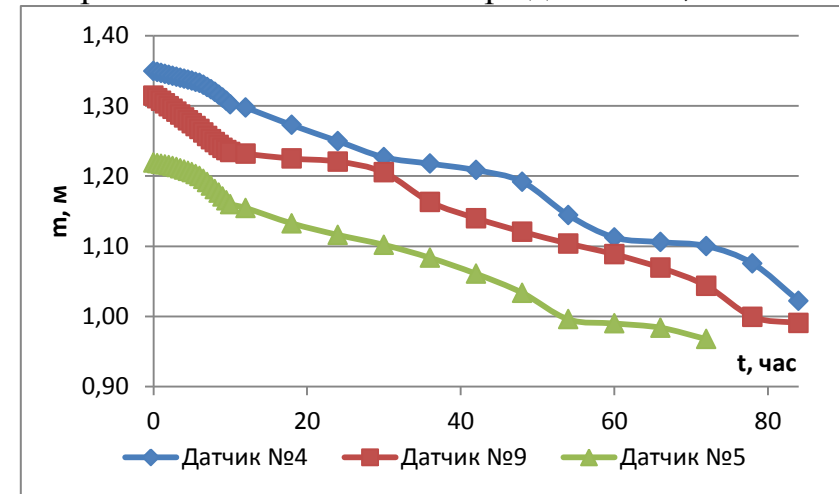


Рисунок 4.7 - График зависимости высоты выработанного пространства возле стойки с динамометром  $m$ , м от времени от начала замера  $t$ , час

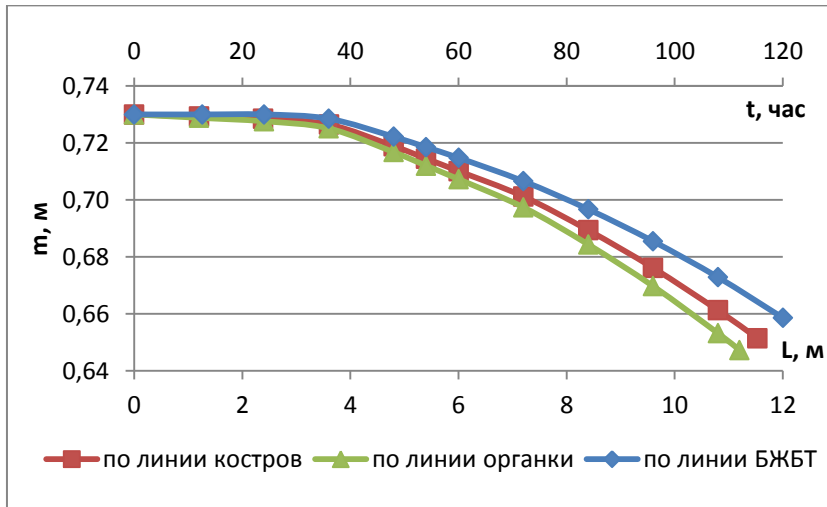


Рисунок 4.8 - График зависимости высоты выр. пространства возле точки замера  $m$ , м от расстояния от точки замера до лавы  $L$ , м и от времени от начала замера  $t$ , час

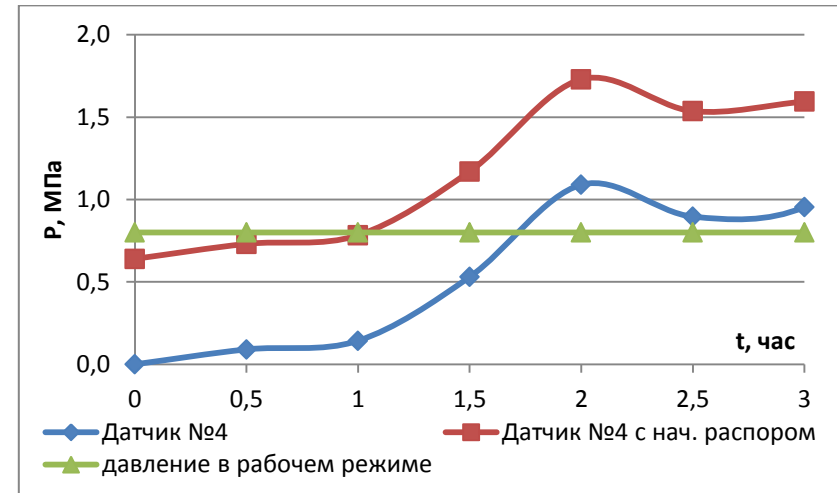


Рисунок 4.9 - Построение рабочей характеристики средства крепления

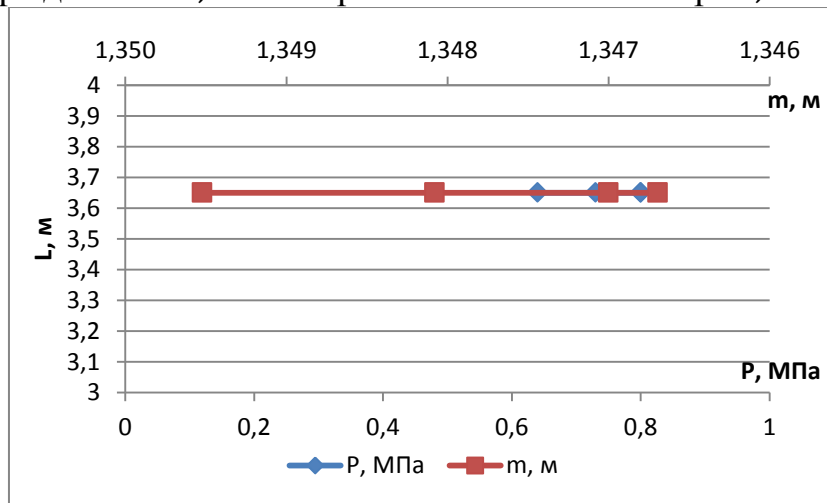


Рисунок 4.10 - График зависимости давления на ЗКД90Т  $P$ , МПа и высоты выр. пространства возле ЗКД90Т  $m$ , м от расстояния от точки замера до лавы  $L$ , м

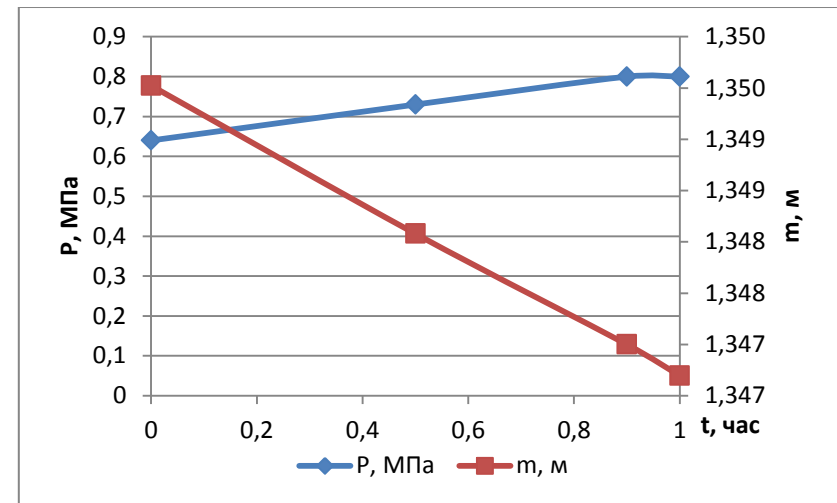


Рисунок 4.11 - График зависимости давления на ЗКД90Т  $P$ , МПа и высоты выр. пространства возле ЗКД90Т  $m$ , м от времени от начала замера  $t$ , час

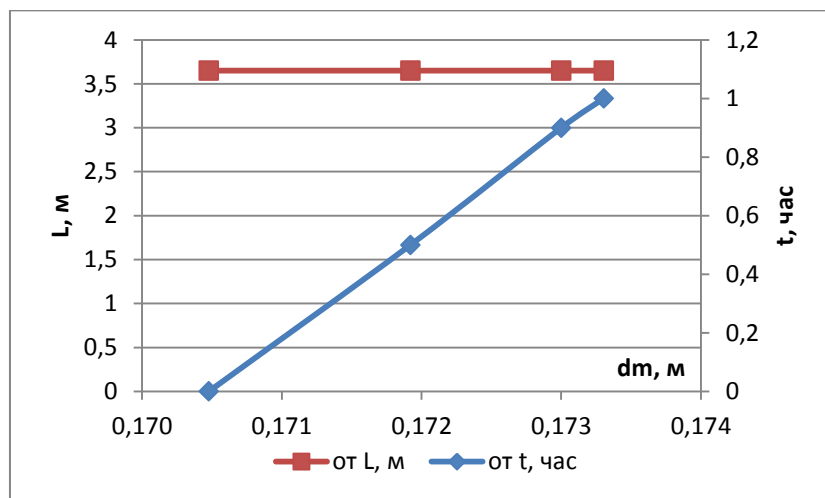


Рисунок 4.12 - График зависимости абсолютного смещения пород вокруг ЗКД90Т  $dm, м$  от расстояния от точки замера до лавы  $L, м$  и от времени от начала замера  $t, час$

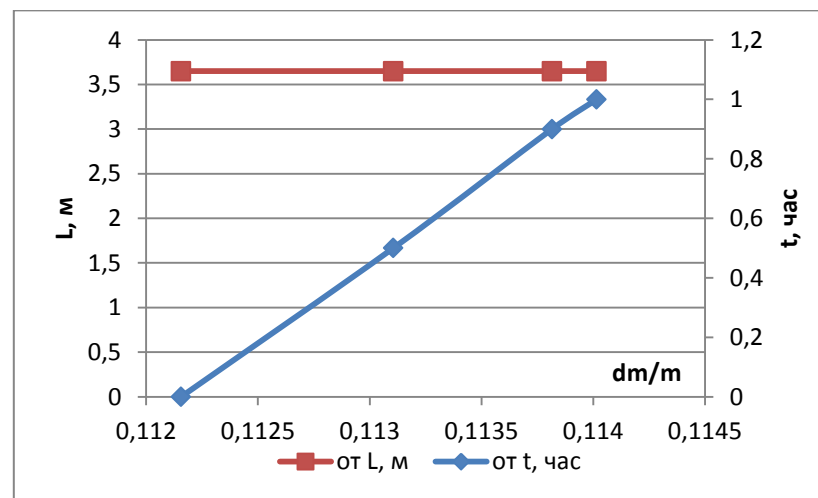


Рисунок 4.13 - График зависимости относительного смещения пород вокруг ЗКД90Т  $dm/m$  от расстояния от точки замера до лавы  $L, м$  и от времени от начала замера  $t, час$

Таблица 4.1

#### Модуль деформации средств крепления

Шахта	Средство крепления	Модуль деформации $E_{деф}, МПа$
«Щегловская-Глубокая»	ЗКД90Т	7,024
	2М87УМП	3,543
	2ГСК13(14)	97,735
«Рассвет-1»	4ГУ20	59,641
	ОКУ-02	143,737
	«Спутник-02»	26,306

При этом согласно графикам высота в этом сечении будет 1,347м (рисунки 4.10, 4.11), абсолютные смещения –  $1,52\text{м}-1,347\text{м}=0,173\text{м}$  (рисунок 4.12), относительные –  $0,173\text{м}/1,52\text{м}=0,114$ (рисунок 4.13).

Тогда модуль деформации будет  $0,8\text{МПа}/0,114=7,024\text{МПа}$ . Результаты расчетов модуля деформации остальных средств крепления в рабочем режиме [201-203] представлены в таблице 4.1.

Поскольку на шахте «Рассвет-1» динамометры не использовались, и единственным наблюдением являлся замер высоты выработанного пространства, то для расчета модуля было сделано предположение о том, что время выхода на рабочий режим для средств крепления по паспортам различных шахт одинаково. Поскольку относительные смещения, скорость подвигания лавы и давления в рабочем режиме средств крепления [204-206] в паспортах отличались, то полученные модули также отличались (таблица 4.1).

В ходе выполнения замеров возникла возможность внедрения тумб в качестве основного охранного сооружения на шахте «Рассвет-1». Условия установки тумб были такие же, как и в разделе 2, параметры тумб – рисунок 4.14, приложения Е, Ж, И.

#### 4.4. Выводы

На основе проведенных шахтных наблюдений можно сделать следующие выводы.

1. Максимальная относительная конвергенция пород в выработанном пространстве лавы на участке в 12м на сопряжении лавы с конвейерным штреком находилась в пределах: для условий шахты «Рассвет-1» - от 0,0098 до 0,113, для условий шахты «Щегловская–Глубокая» - от 0,50 до 0,55.

2. Максимальное давление на динамометр, установленный между породами кровли и гидравлической стойкой ГСК в выработанном пространстве лавы на участке в 12м на сопряжении лавы с конвейерным штреком, для условий шахты «Щегловская–Глубокая» находилось в пределах - от 14,24 до 18,80МПа.

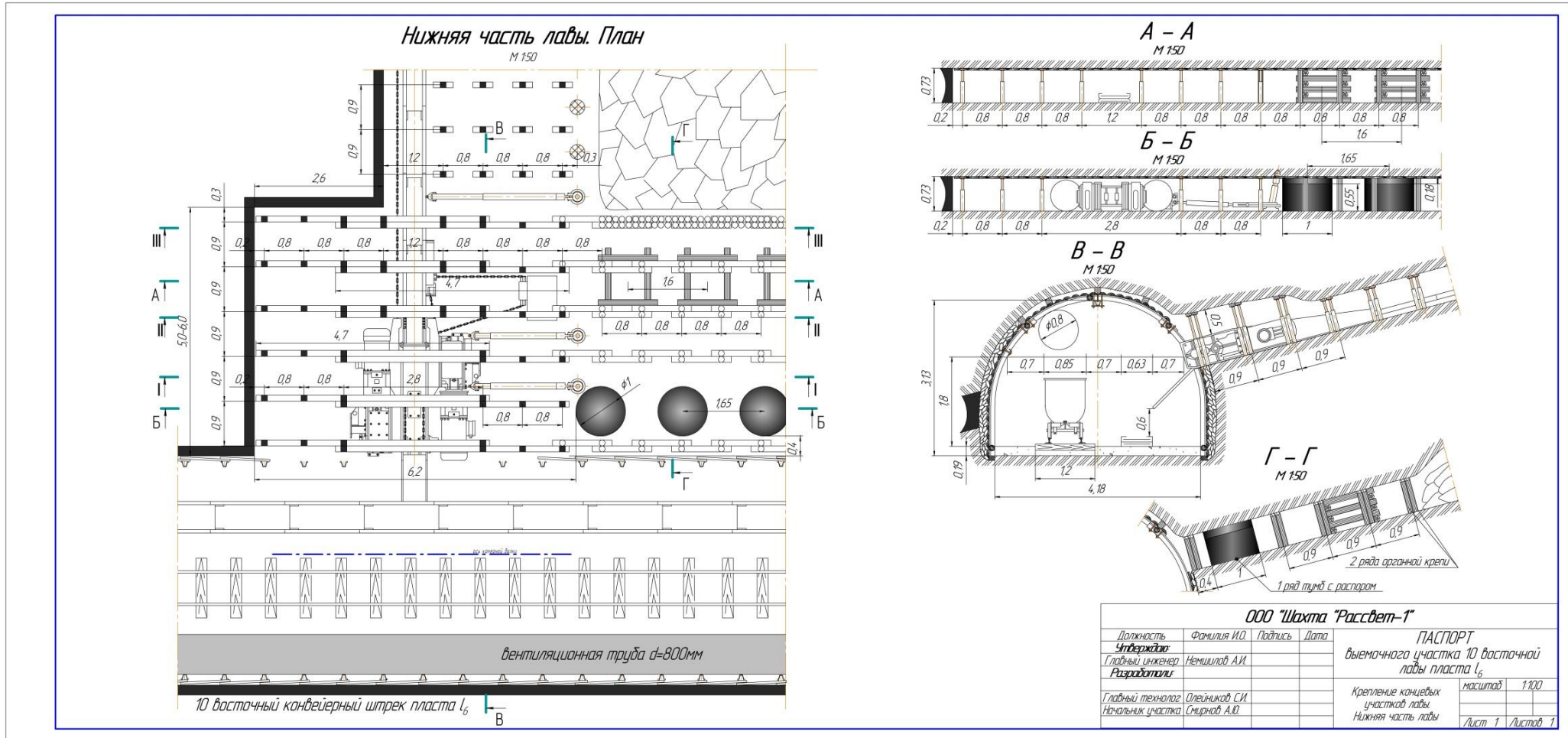


Рисунок 4.14 - ООО «Шахта «Рассвет-1». Паспорт выемочного участка 10 восточной лавы пл.  $l_6$  . Нижняя часть лавы. План (предлагаемый вариант)

3. Согласно показанию динамометров, две из трех стоек за время наблюдения вышли на рабочий режим.

4. Модуль деформации средств крепления в рабочем режиме, которые входили в паспорт, находился в пределах: для условий шахты «Рассвет-1» - от 26,306 до 143,737МПа, для условий шахты «Щегловская–Глубокая» - от 3,543 до 97,735МПа.

## РАЗДЕЛ 5

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА  
ВОКРУГ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ5.1. Сравнение результатов численного моделирования и моделирования с помощью  
эквивалентных материалов

## 5.1.1 Построение модели, приложение нагрузок и получение решения

Достоинством численного моделирования, кроме перечисленных в разделе 4, является ещё то, что посмотреть результаты можно не только на передней грани модели (как при моделировании с помощью эквивалентных материалов), но и в любых других её точках. До того как расширить участок массива, рассмотренный в разделе 2 и включить в него лаву и участок выработки впереди неё, горно-геологические и горнотехнические условия участка были повторно использованы при численном моделировании. В качестве программного продукта для решения инженерной задачи был выбран Ansys [207].

Дополнительными исходными данными для решения нелинейной стационарной пространственной задачи механики деформируемого твёрдого тела были параметры механических свойств горных пород (прочность на сжатие  $\sigma_{сж}$ , МПа, прочность на растяжение  $\sigma_r$ , МПа, модуль упругости  $E$ , МПа, коэффициент Пуассона  $\mu$ , сцепление  $C$ , МПа, угол внутреннего трения  $\varphi$ , °, угол дилатансии  $\delta$ , °, плотность  $\gamma$ ,  $\frac{кг}{м^3}$ ) [208, 209] и охранных сооружений (таблица 5.1).

Для того чтобы получить модуль деформации костра с учётом шага его установки при моделировании эквивалентными материалами ( $l_{\text{между кострами}} = 1,6\text{м}$ ) была построена его модель. Линейные размеры бруса  $0,12 \times 0,12 \times 1,2\text{м}$ . Костер выложен на мощность пласта  $m = 0,73\text{м}$ . Упругие свойства материала – модуль упругости ( $E = 300\text{МПа}$ ) и коэффициент Пуассона ( $\mu = 0,018$ ) при сжатии сосны поперёк волокон при её влажности 25% [210, 211]. Над костром – плита. На верхнюю грань плиты – равномерно распределённая нагрузка.

Свойства горных пород и охранных сооружений для условий шахты «Рассвет-1» (модель без лавы)

место	слой	порода	$m, м$	$\sigma_{сж}, МПа$	$\sigma_p, МПа$	$E, МПа$	$\mu$	$C, МПа$	$\varphi, ^\circ$	$\delta, ^\circ$	$\gamma, \frac{кг}{м^3}$
почва	1	Песчаный сланец	16,5	65	14,8	26,9e3	0,24	15,51	38,98	38,98	2,7e3
	2	Песчаник	4,5	85	16,34	22,77e3	0,395	18,63	42,66	42,66	2,615e3
	3	Песчаный сланец	1,5	55	14,8	24,04e3	0,255	14,27	35,16	35,16	2,7e3
	4	Песчаный сланец	0,6	50	14,9	22,62e3	0,263	13,65	32,74	32,74	2,7e3
пласт	5	Уголь	0,73	15	1,5	0,42e3	0,08	9,9	38	28	1,52e3
кровля	6	Песчаник	2	66	12,49	18,51e3	0,372	14,35	43	43	2,615e3
	7	Песчаник	11	85	16,34	22,77e3	0,395	18,63	42,66	42,66	2,615e3
	8	Песчаный сланец	1,6	70	14,9	28,33e3	0,232	16,15	40,47	40,47	2,7e3
	9	Известняк	1,7	80	14,2	22,56e3	0,17	17	44,31	44,31	2,67e3
костры			-	0,61	-	7,595	0,3[212]	-	-	-	56,104
БЖБТ			-	3,947	-	43,524	0,3[212]	-	-	-	182,425
тумбы с распором			-	42,434	-	183,590	0,3[212]	-	-	-	399,773



Величина нагрузки превышала несущую способность костра ( $P = 0,75\text{МПа}$ ). Нагрузка, при которой расчет заканчивался ( $P_{max} = 0,61\text{МПа}$ ) – несущая способность костра. Модуль деформации костра ( $E_{\text{деф}} = \frac{0,61}{0,08} = 7,595\text{МПа}$ ) – отношение его несущей способности к его предельной относительной вертикальной деформации ( $\delta = \frac{UY}{m} = \frac{0,058884}{0,73} = 0,08$ ). Пример log-файла представлен в приложении К.

Для того чтобы получить модуль деформации тумб с распором с учётом шага их установки при моделировании эквивалентными материалами ( $l_{\text{между тумбами}} = 0,875\text{м}$ ) была построена их модель. Модуль деформации тумбы с распором  $E_{\text{деф}} = 611,919\text{е}^6\text{Па}$  диаметром  $D_{\text{оп}} = 0,75\text{м}$ , высотой  $H_{\text{оп}} = 0,73\text{м}$ , с диаметром трубки  $d_{\text{тр}} = 0,16\text{м}$ , с диаметром породы  $d_{\text{пор}} = 0,075\text{м}$  был рассчитан по формуле 3.1. Пример log-файла представлен в приложении К.

Модуль деформации БЖБТ с прокладками из ДСП был получен из источника [34].

Объемный вес охранных сооружений – вес материалов, из которых они возведены, с учётом шага их установки. Например, для костра объемный вес был определен следующим образом. При линейных размерах бруса  $0,12 \times 0,12 \times 1,2\text{м}$  и плотности сосны при её влажности 25%  $\rho = 600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  [34], при количестве брусев в костре 10шт, масса одного костра -  $m = 0,12 \cdot 0,12 \cdot 1,2 \cdot 600 \cdot 10 = 126,144\text{кг}$ . С учётом шага установки костров  $l_{\text{между кострами}} = 1,6\text{м}$  и того участка кровли, который они поддерживают в направлении перпендикулярном шагу их установки  $l_{\text{между охр.сооружениями}} = 1,925\text{м}$ , объем, который будет поддерживать один костёр -  $V = 1,6 \cdot 0,73 \cdot 1,925 = 2,248\text{м}^3$ . Тогда вес этого объёма -  $\gamma = \frac{126,144}{2,248} = 56,104 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Начало координат – левый нижний угол на передней грани модели.

После геометрического построения модели, задания свойств материалов и присвоения получившимся объёмам их свойств, модель была разбита объёмными элементами без промежуточных узлов на гранях Solid45 (этот тип элемента

поддерживает модель Друкера-Прагера). Затем между соприкасающимися объёмами в модели были созданы контактные пары, использующие стандартный тип контакта.

После этого модель была закреплена от перемещений по нижней и боковым граням. На верхнюю грань модели была приложена равномерно распределённая нагрузка, моделирующая вес оставшихся до поверхности пород. При глубине заложения выработки  $H = 530\text{м}$  и средневзвешенной плотности пород до поверхности  $\gamma = 2,64 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$  она составила  $P = 12,769\text{е}6\text{Па}$ . Кроме поверхностной нагрузки к модели была применена объемная нагрузка в виде поля гравитационных сил (рисунок 5.1). Далее выбран тип анализа (статический) и его опций (включены эффекты большой деформации и предварительного напряжения, был использован полный Ньютон-Рафсон с несимметричными матрицами элементов), были указаны опции для шага нагружения (расчёт всех элементов решения, плавное приложение нагрузки и разбивка шага нагрузки на подшаги) и был произведён запуск на счёт.

Примеры log-файлов для шахтного и предлагаемого вариантов представлены в приложении Л.

При изучении влияния времени вступления охранного сооружения в работу (наличия/отсутствия зазора между охранным сооружением и кровлей) измерялись следующие параметры:

- максимальный зазор ( $gap_{max}$ , м) и максимальные контактные давления ( $P_{cont\ max}$ , Па), и их расположение ( $x, y, z$ ) для каждой контактной пары в отдельности и для модели в целом;

- максимальные сжимающие ( $\sigma_3$ , Па) и растягивающие напряжения ( $\sigma_1$ , Па), и их расположение ( $x, y, z$ ) для каждого объема в модели и для модели в целом.

С помощью теории прочности Мора  $\sigma_{пр} \leq [\sigma]$  [213] были вычислены:

- объем разрушенных от сжатия и растяжения элементов в породных слоях;
- объем разрушенных от сжатия элементов в охранных сооружениях;
- объем разрушенных от сжатия контактных элементов для каждой контактной пары в отдельности;

а также:

- процент расслоившихся контактных элементов;

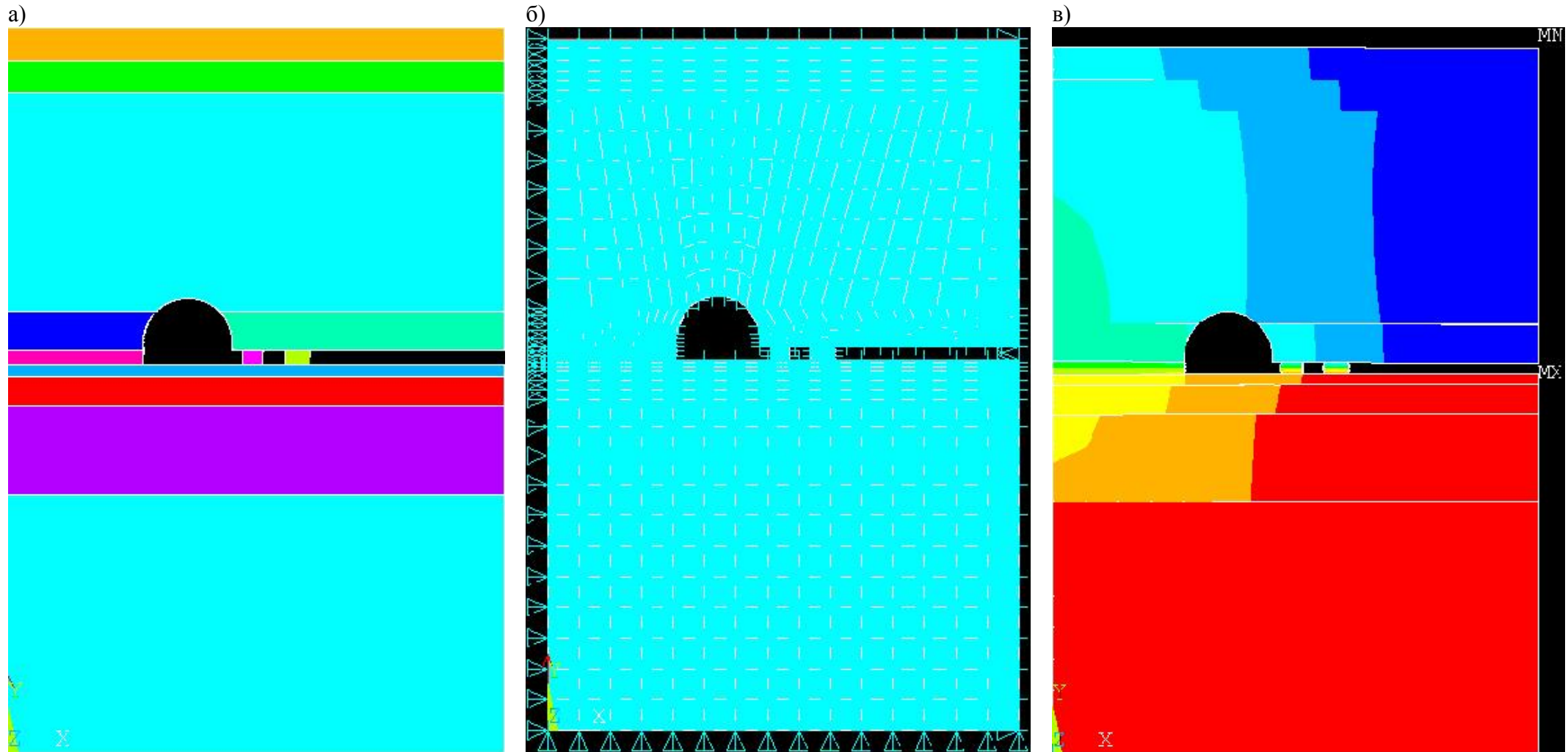


Рисунок 5.1 - Этапы типового расчёта в Ansys для условий шахты «Рассвет-1» (модель без лавы):

- а) – создание геометрической модели, б) – разбиение модели с помощью элементов и приложение нагрузок, в) – просмотр и анализ результатов

- процент поверхности охранного сооружения, которое работает, и при каком давлении это происходит.

Процент расслоившихся контактных элементов определялся как количество элементов со статусом «открыт возле и вне контакта», взятого в процентном отношении к общему количеству элементов контакта.

Процент поверхности охранного сооружения, которое работает, определялся как количество элементов с контактным давлением в диапазоне от 0 до  $1,4\sigma_{сж}$  ( $\sigma_{сж}$  – несущая способность охранного сооружения), взятого в процентном отношении к общему количеству элементов контакта между кровлей и охранным сооружением.

Для описания результатов сравнительного анализа итогов, полученных при численном моделировании и моделировании с помощью эквивалентных материалов, были выбраны только те объёмы и контактные пары, в которых разница между значениями одноименных параметров составила 20% и более в каждом подшаге нагружения.

### 5.1.2 Результаты моделирования

Результаты исследований представлены на рисунках 5.2-5.19 и в таблицах 5.2, 5.3. Сравнительный анализ результатов влияния времени вступления охранного сооружения в работу (наличия/отсутствия зазора между охранным сооружением и кровлей) на характер деформирования и разрушения вмещающих выработку пород методом численного моделирования в условиях шахты «Рассвет-1» путём сравнения шахтного и предлагаемого вариантов охранного сооружения и одновременно сравнение результатов численного и эквивалентного моделирования позволил сделать следующие выводы. Использование тумб с распором:

- обеспечивает устойчивость основной почвы;
- увеличивает контактное давление между охранным сооружением и непосредственной почвой, что приводит к расслоению пород непосредственной почвы;
- переносит нагрузку с костров на тумбы;

- обеспечивает устойчивость непосредственной и основной кровель;
- формирует магистральную трещину, которая приводит к обрушению консоли, не со стороны массива, а со стороны выработанного пространства, вовлекая в обрушение только непосредственную кровлю.

Рассмотрим подробнее полученные выводы.

Обеспечение устойчивости основной почвы происходит за счёт уменьшения зазора и количества расслоившихся контактных элементов на контакте между 1-ым и 2-ым слоем основной почвы (рисунки 5.2, 5.3).

Увеличение контактного давления между охранным сооружением и непосредственной почвой (рисунок 5.4) приводит к увеличению зазора (рисунок 5.5) и объёму расслоившихся пород (рисунок 5.6) на контакте между 2-ым и 3-им слоем непосредственной почвы. Такой же эффект отслежен и при моделировании с помощью эквивалентных материалов. Так в модели с предлагаемым охранным сооружением под тумбой образуется зона сжатия и две зоны расслоения пород непосредственной почвы (раздел 2 рисунок 2.11 зона сжатия 1; рисунок 2.12 расслоение 1, 2).

Уменьшение контактного давления между кострами и непосредственной почвой (рисунок 5.7), кострами и непосредственной кровлей (рисунок 5.8), уменьшение сжимающих напряжений в самом костре (рисунок 5.9) говорит о переносе нагрузки с костров на тумбы с распором. Такой же эффект отслежен и при моделировании с помощью эквивалентных материалов. В модели с шахтным охранным сооружением над и под костром образуются две зоны сжатия, которых нет в модели с предлагаемым охранным сооружением (раздел 2 рисунок 2.10 зона сжатия 3,4).

Обеспечение устойчивости непосредственной кровли происходит за счёт увеличения контактного давления между охранным сооружением и непосредственной кровлей (рисунок 5.10). Такой же эффект отслежен и при моделировании с помощью эквивалентных материалов. Так в модели с предлагаемым охранным сооружением в непосредственной кровле нет расслоений, трещин и вывалов на участке между выработкой и кострами (раздел 2 рисунок 2.8

вывал 1, трещина 3, расслоение 3; рисунок 2.9 расслоение 4,5, вывал 3,4, трещины 3,6,9,10).

Обеспечение устойчивости основной кровли происходит за счёт уменьшения растягивающего напряжения в верхних слоях модели (рисунки 5.11, 5.12). Такой же эффект отслежен и при моделировании с помощью эквивалентных материалов. Так в модели с предлагаемым охранном сооружением в основной кровле нет трещин (раздел 2 рисунок 2.14 трещина 1,2; рисунок 2.9 трещина 7).

Формирование магистральной трещины в модели с шахтным охранном сооружением происходит со стороны массива над пластом, где сначала формируется 1-я зона сжатия, внутри которой зарождается и прорастает магистральная трещина 5 (раздел 2 рисунок 2.8 зона сжатия 1, трещина 5). Рост трещины сопровождается многочисленными вывалами в выработку породы, расположенной на контакте непосредственной кровли и пласта (раздел 2 рисунок 2.10 вывалы 2,5,6,7). Причиной такого заложения магистральной трещины является то, что в данном месте расположен максимум всех контактных давлений в модели. Использование тумб с распором увеличивает контактное давление между охранном сооружением и непосредственной кровлей (рисунок 5.10). Это увеличивает сжимающие и растягивающие напряжения в породах непосредственной кровли (рисунки 5.13, 5.14) и сжимающие напряжения в охранном сооружении (рисунок 5.15). Это переносит максимум контактных давлений: по горизонтали - от стенки выработки со стороны массива к стенке тумбы со стороны выработанного пространства (рисунок 5.16), по вертикали - из контакта между пластом и почвой в контакт между тумбой и непосредственной кровлей (рисунок 5.17).

Использование тумб с распором ведёт к увеличению объёма расслоившихся на контакте основной и непосредственной кровли элементов (рисунок 5.18), уменьшению сжимающих напряжений в основной кровле (рисунок 5.19) и увеличению их в непосредственной (рисунок 5.13). Что позволит сформировать породную консоль, в которой участвуют породы только непосредственной кровли.

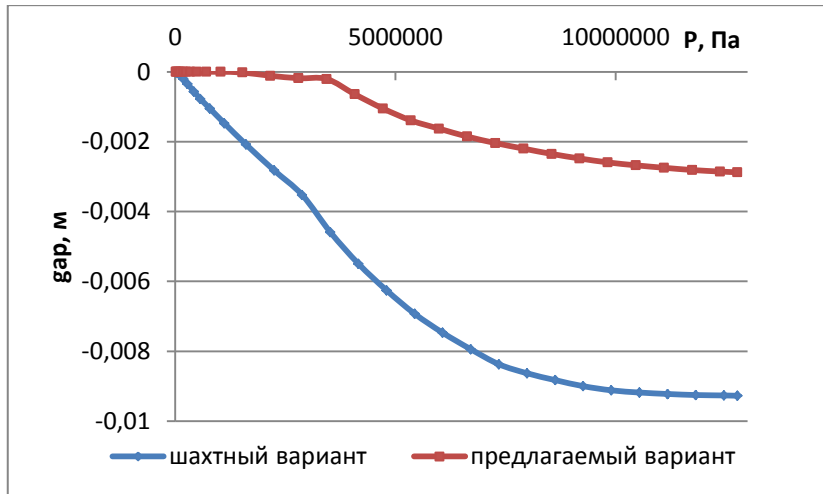


Рисунок 5.2 - График зависимости зазора на контакте «слой 1 – слой 2»  $gap$ , м от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па

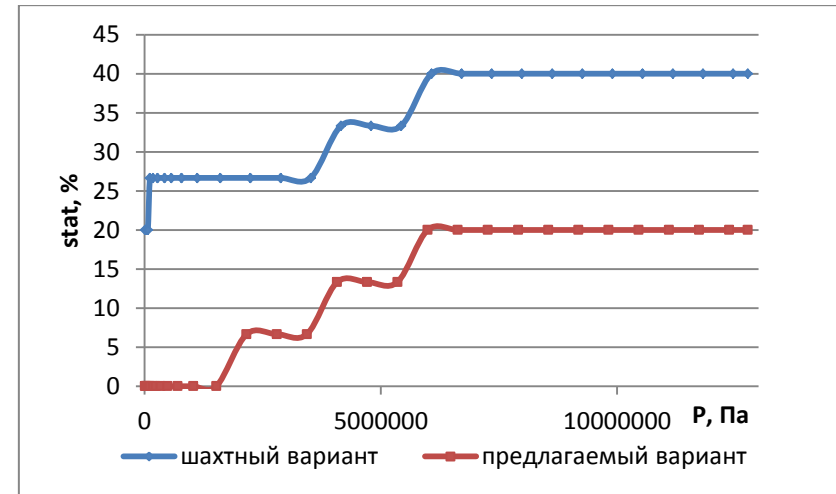


Рисунок 5.3 - График зависимости количества расслоившихся элементов на контакте «слой 1 – слой 2»  $stat$ , % от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па

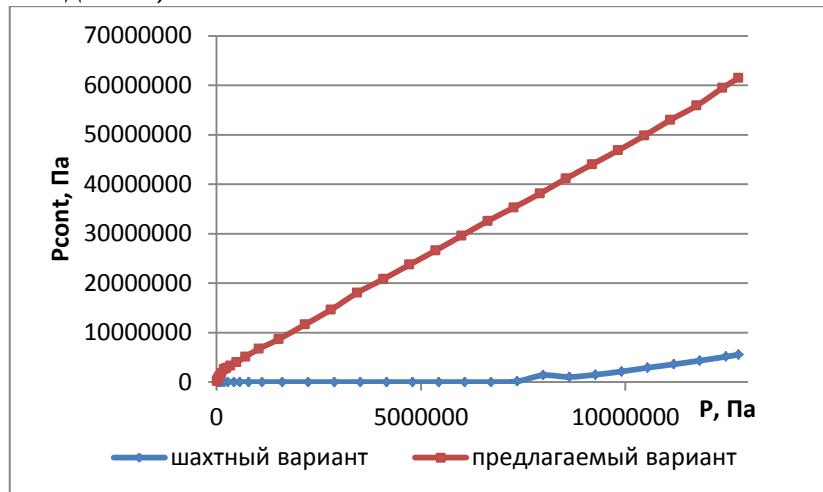


Рисунок 5.4 - График зависимости давления на контакте «слой 4 – тумба с распором»  $P_{cont}$ , Па от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па

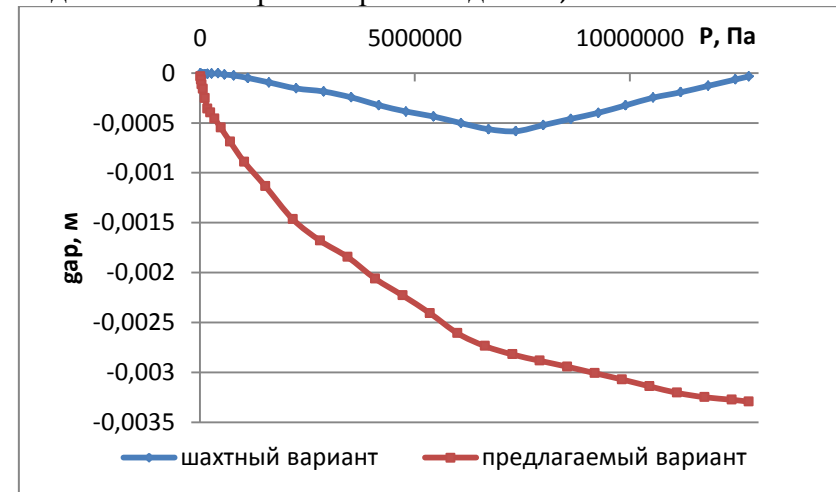


Рисунок 5.5 - График зависимости зазора на контакте «слой 2 – слой 3»  $gap$ , м от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па

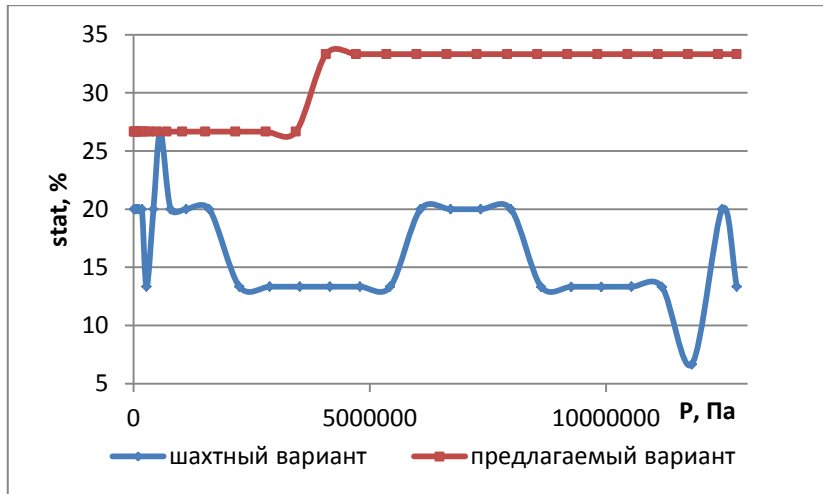


Рисунок 5.6. - График зависимости количества расслоившихся элементов на контакте «слой 2 – слой 3»  $stat, \%$  от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P, \text{Па}$

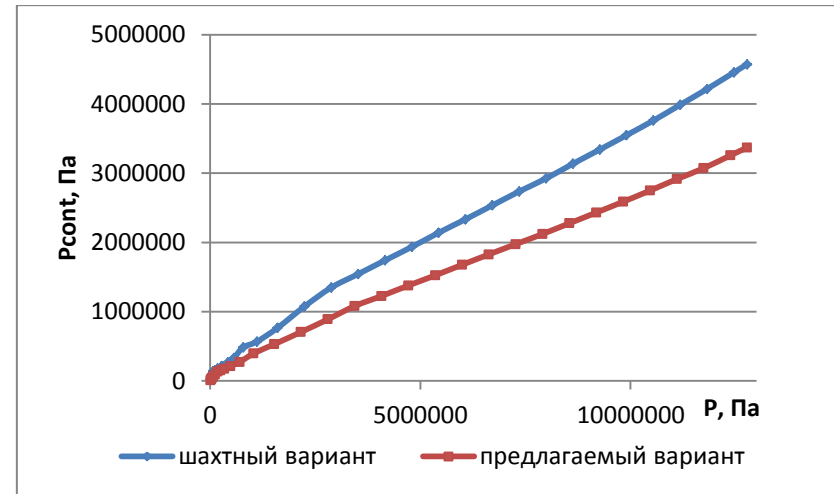


Рисунок 5.7 - График зависимости давления на контакте «слой 4 – костёр»  $P_{cont}, \text{Па}$  от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P, \text{Па}$

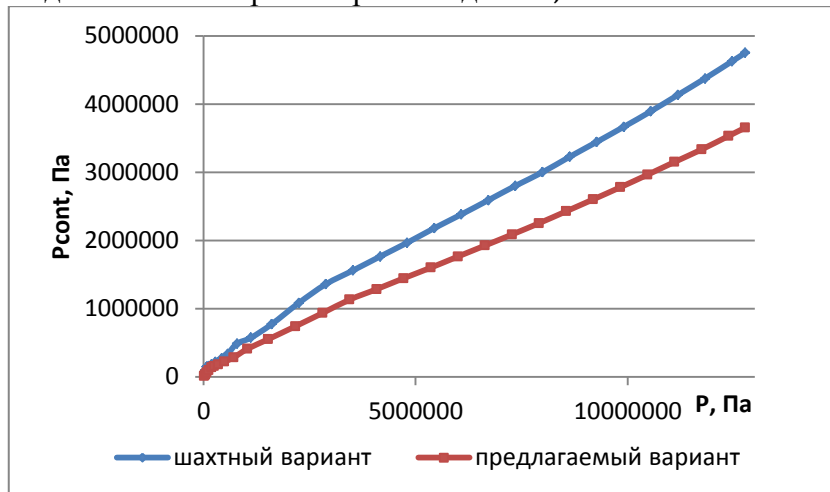


Рисунок 5.8 - График зависимости давления на контакте «слой 6 – костёр»  $P_{cont}, \text{Па}$  от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P, \text{Па}$

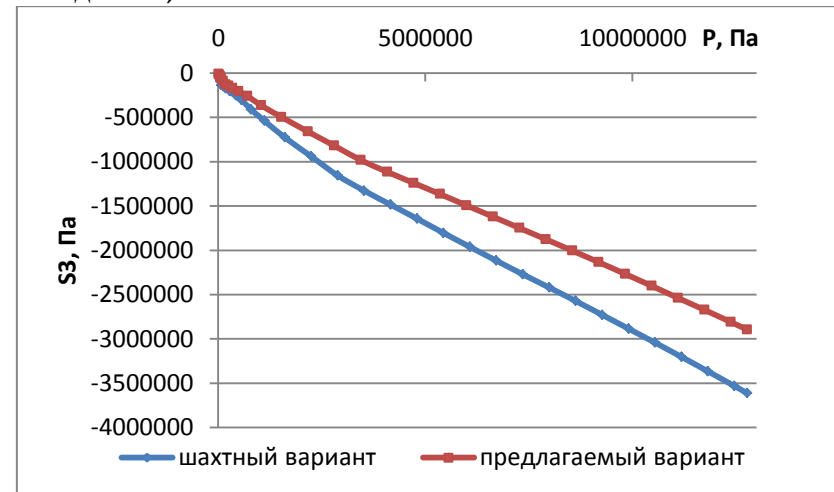


Рисунок 5.9 - График зависимости сжимающих напряжений в костре  $S_3, \text{Па}$  от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P, \text{Па}$



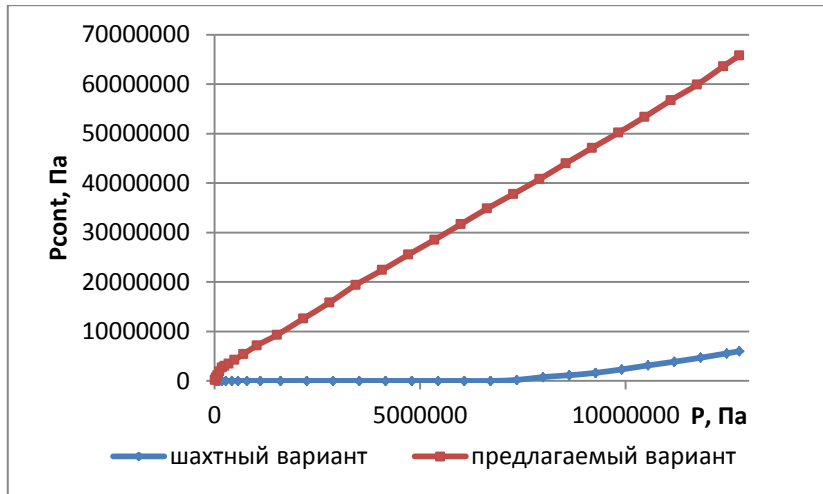


Рисунок 5.10 - График зависимости давления на контакте «слой 6 – тумба с распором»  $P_{cont}$ , Па от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па

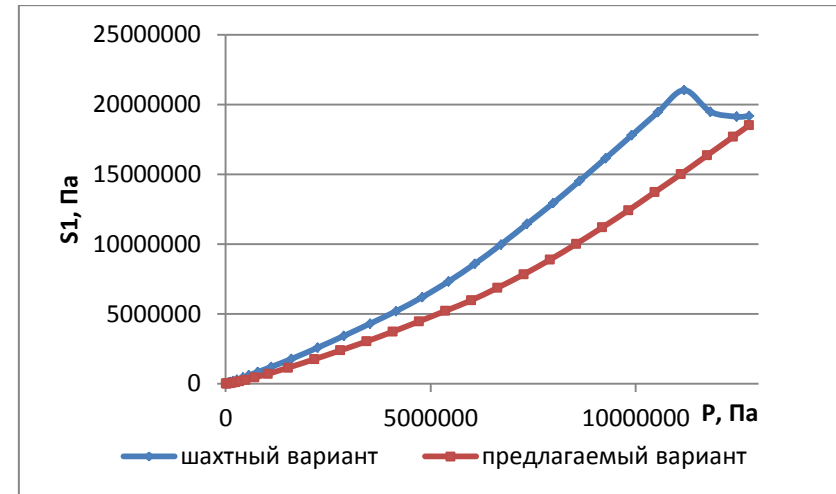


Рисунок 5.11 - График зависимости растягивающих напряжений в слое 8  $S_1$ , Па от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па

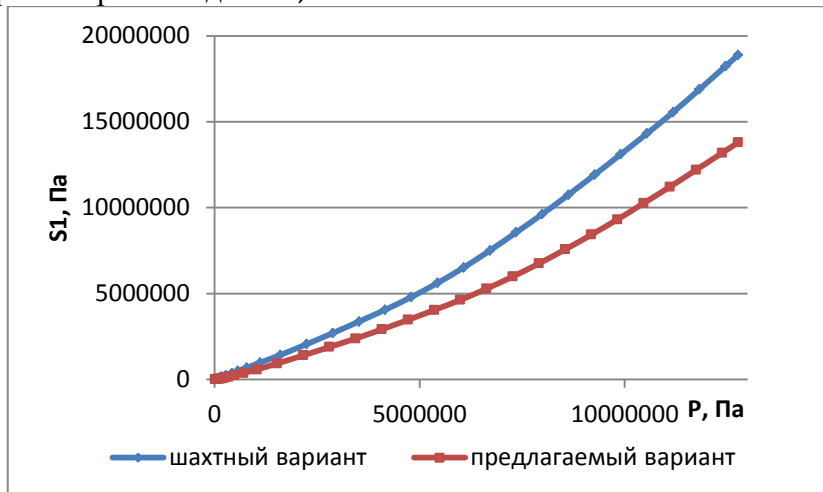


Рисунок 5.12 - График зависимости растягивающих напряжений в слое 9  $S_1$ , Па от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па

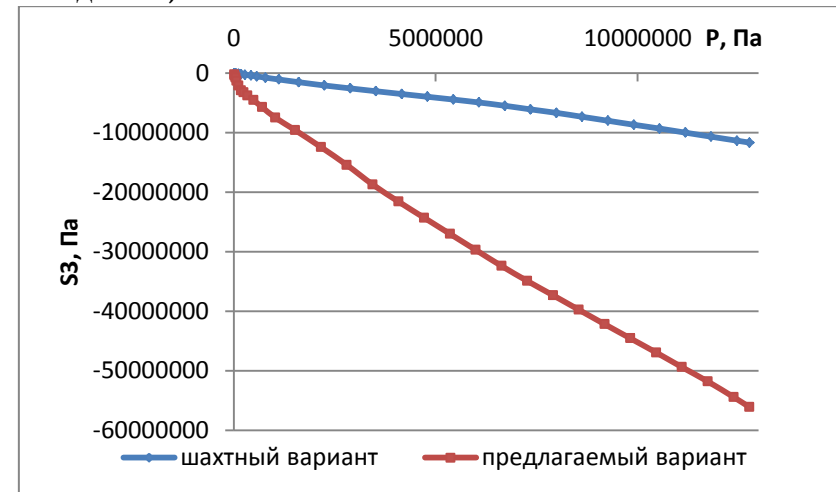


Рисунок 5.13 - График зависимости сжимающих напряжений в слое 6  $S_3$ , Па от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па

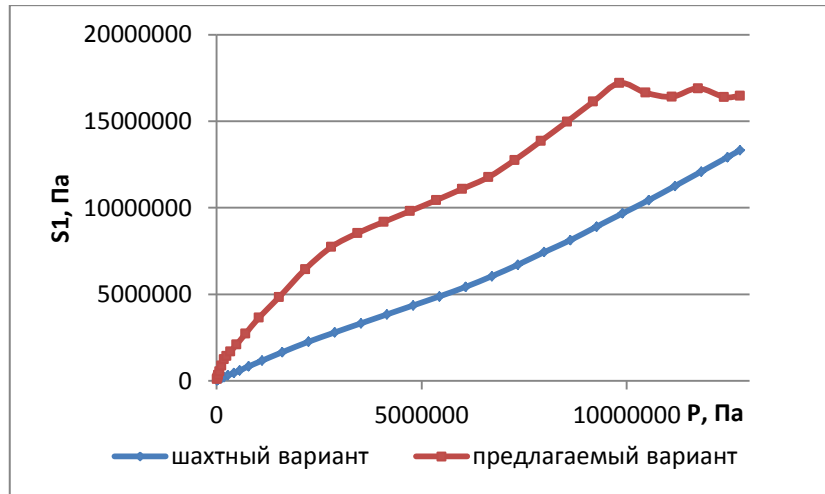


Рисунок 5.14 - График зависимости растягивающих напряжений в слое 6  $S_1$ , Па от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па

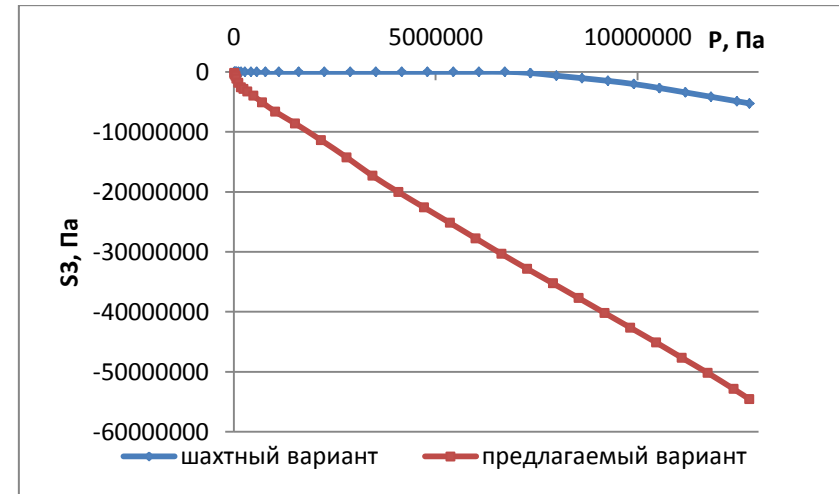


Рисунок 5.15 - График зависимости сжимающих напряжений в тунбе с распором  $S_3$ , Па от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па

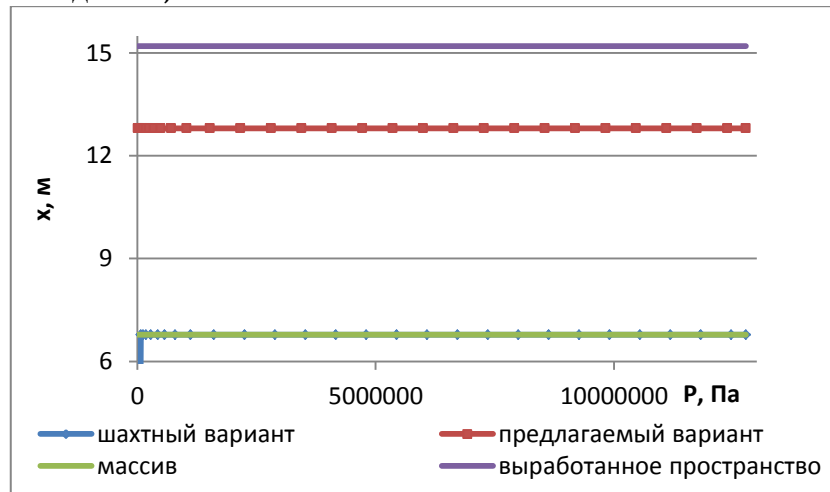


Рисунок 5.16 - График зависимости  $x$ , м горизонтальной координаты места расположения максимального контактного давления в модели от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па

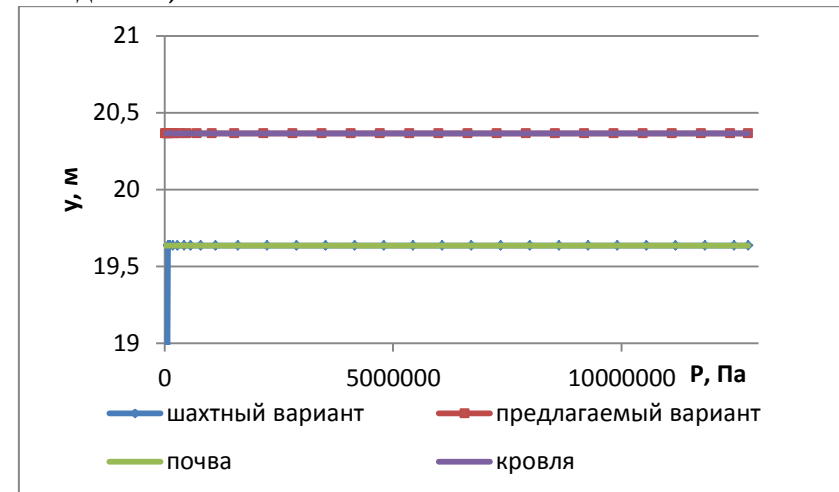


Рисунок 5.17 - График зависимости  $y$ , м вертикальной координаты места расположения максимального контактного давления в модели от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па

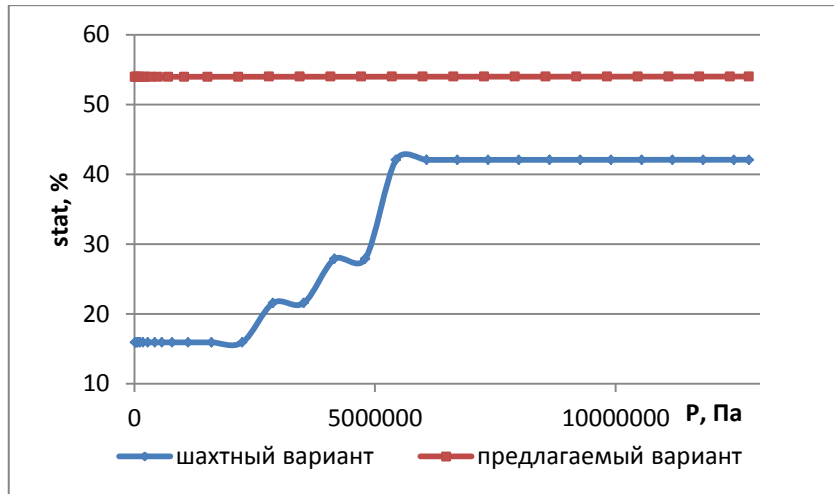


Рисунок 5.18 - График зависимости количества расслоившихся элементов на контакте «слой 6 – слой 7»  $stat, \%$  от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P, \text{Па}$

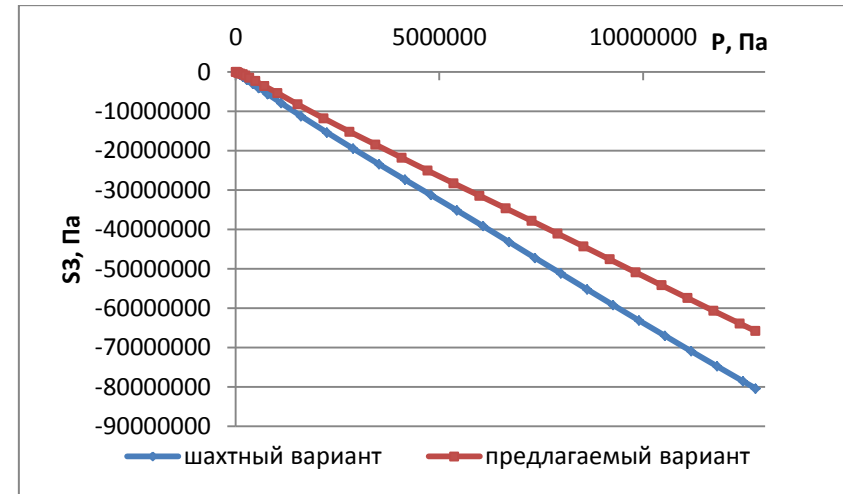


Рисунок 5.19 - График зависимости сжимающих напряжений в слое 7  $S_3, \text{Па}$  от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P, \text{Па}$

Таблица 5.2

Момент вступления в работу охранного сооружения (предлагаемый вариант) для условий шахты «Рассвет-1»(без лавы)

P, МПа	0	(0 ÷ 0,1)	(0,1 ÷ 0,2)	(0,2 ÷ 0,3)	(0,3 ÷ 0,4)	(0,4 ÷ 0,5)	(0,5 ÷ 0,6)	(0,6 ÷ 0,7)	(0,7 ÷ 0,8)	(0,8 ÷ 0,9)	(0,9 ÷ 1,0)	(1,0 ÷ 1,1)	(1,1 ÷ 1,2)	(1,2 ÷ 1,3)	(1,3 ÷ 1,4)
		$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$
0,013	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,026	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,045	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,073	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,117	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,181	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,278	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,424	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,569	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,787	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,114	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,605	0	0	74,95	25,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,244	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,882	0	0	0	49,86	50,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,521	0	0	0	0	74,91	25,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,159	0	0	0	0	24,91	75,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,798	0	0	0	0	0	74,89	25,11	0	0	0	0	0	0	0	0
5,436	0	0	0	0	0	24,89	49,99	25,12	0	0	0	0	0	0	0
6,074	0	0	0	0	0	0	74,87	25,13	0	0	0	0	0	0	0
6,713	0	0	0	0	0	0	24,88	49,99	25,14	0	0	0	0	0	0
7,351	0	0	0	0	0	0	0	49,72	50,28	0	0	0	0	0	0
7,990	0	0	0	0	0	0	0	49,71	25,14	25,15	0	0	0	0	0
8,628	0	0	0	0	0	0	0	0	49,70	25,15	25,16	0	0	0	0
9,267	0	0	0	0	0	0	0	0	49,69	25,15	25,16	0	0	0	0
9,905	0	0	0	0	0	0	0	0	24,85	24,83	25,16	25,16	0	0	0
10,544	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49,67	25,16	25,17	0	0	0
11,182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24,84	24,82	25,17	25,17	0	0
11,821	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49,65	25,17	0	25,17	0
12,459	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24,83	24,81	25,18	25,18	0
12,769	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24,83	24,81	25,18	0	25,18

Таблица 5.3

Момент вступления в работу охранного сооружения (шахтный вариант) для условий шахты «Рассвет-1»(без лавы)

P, МПа	0	(0	(0,1	(0,2	(0,3	(0,4	(0,5	(0,6	(0,7	(0,8	(0,9	(1,0	(1,1	(1,2	(1,3
		÷ 0,1)	÷ 0,2)	÷ 0,3)	÷ 0,4)	÷ 0,5)	÷ 0,6)	÷ 0,7)	÷ 0,8)	÷ 0,9)	÷ 1,0)	÷ 1,1)	÷ 1,2)	÷ 1,3)	÷ 1,4)
		$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$
0,013	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,026	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,045	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,073	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,117	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,181	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,246	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,343	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,488	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,706	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,034	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,524	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,163	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,801	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,440	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,078	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,717	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,355	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,994	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,632	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,271	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,909	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,547	0	0	20,01	79,99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,186	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,824	0	0	0	0	0	79,95	20,05	0	0	0	0	0	0	0	0
10,463	0	0	0	0	0	0	19,96	59,97	20,07	0	0	0	0	0	0
11,101	0	0	0	0	0	0	0	0	79,92	20,08	0	0	0	0	0
11,740	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,94	59,96	20,09	0	0	0
12,378	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79,89	0	20,11	0
12,769	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,93	59,96	0	20,11

Поскольку каждый результат численного моделирования совпал с результатами эквивалентного моделирования, можем сделать вывод о согласованности результатов эквивалентного и численного моделирования. Это дает возможность использовать численное моделирование для дальнейших исследований.

Полученный положительный эффект от использования тумб с распором был следствием того, что тумбы всей своей поверхностью с первого подшага нагрузки включаются в работу по поддержанию выработки (таблица 5.2), в то время как БЖБТ тратит на это 47% от шага нагрузки (таблица 5.3).

## 5.2. Численное моделирование механизма разрушения массива вокруг подготовительной выработки, прилегающей к лаве, в условиях шахты «Рассвет-1»

### 5.2.1 Построение модели, приложение нагрузок и получение решения

Для того чтобы получить более полную картину сдвижений с учетом всех опор, которые находятся в плоскости пласта, и выделить роль охранного сооружения среди всех искусственных и естественных опор, участок массива, рассмотренный в разделе 2, был расширен. В него были включены лава и участок выработки впереди неё. Линейными размерами модели были (рисунок 5.20):

- длина участка выработки впереди лавы принималась не менее длины зоны опорного давления, которая при мощности пласта  $m = 0,73\text{м}$  и глубине  $H = 530\text{м}$  и средневзвешенной крепости вокруг выработки  $f = 5,05$  составила  $l_{\text{оп}} = 45,89\text{м} \approx 50\text{м}$  [214];

- длина участка выработки за лавой принималась равной шагу первой посадки ( $Ш_0 = 50\text{м}$ ) – для первой пары моделей с шахтным и предлагаемым вариантом охранного сооружения и, для второй пары – шагу последующих посадок ( $Ш_{\text{п}} = 15\text{м}$ );

- размер участка массива в кровлю, почву и бока выработки принимался равным не менее 4 наибольших размеров выработки ( $4 \cdot 4,52\text{м} = 18,08\text{м}$ ) - 30м, чтобы быть соизмеримым с остальными размерами модели.

Поскольку размеры модели увеличились, в почве и кровле выработки добавилось по одному слою (таблица 5.4).

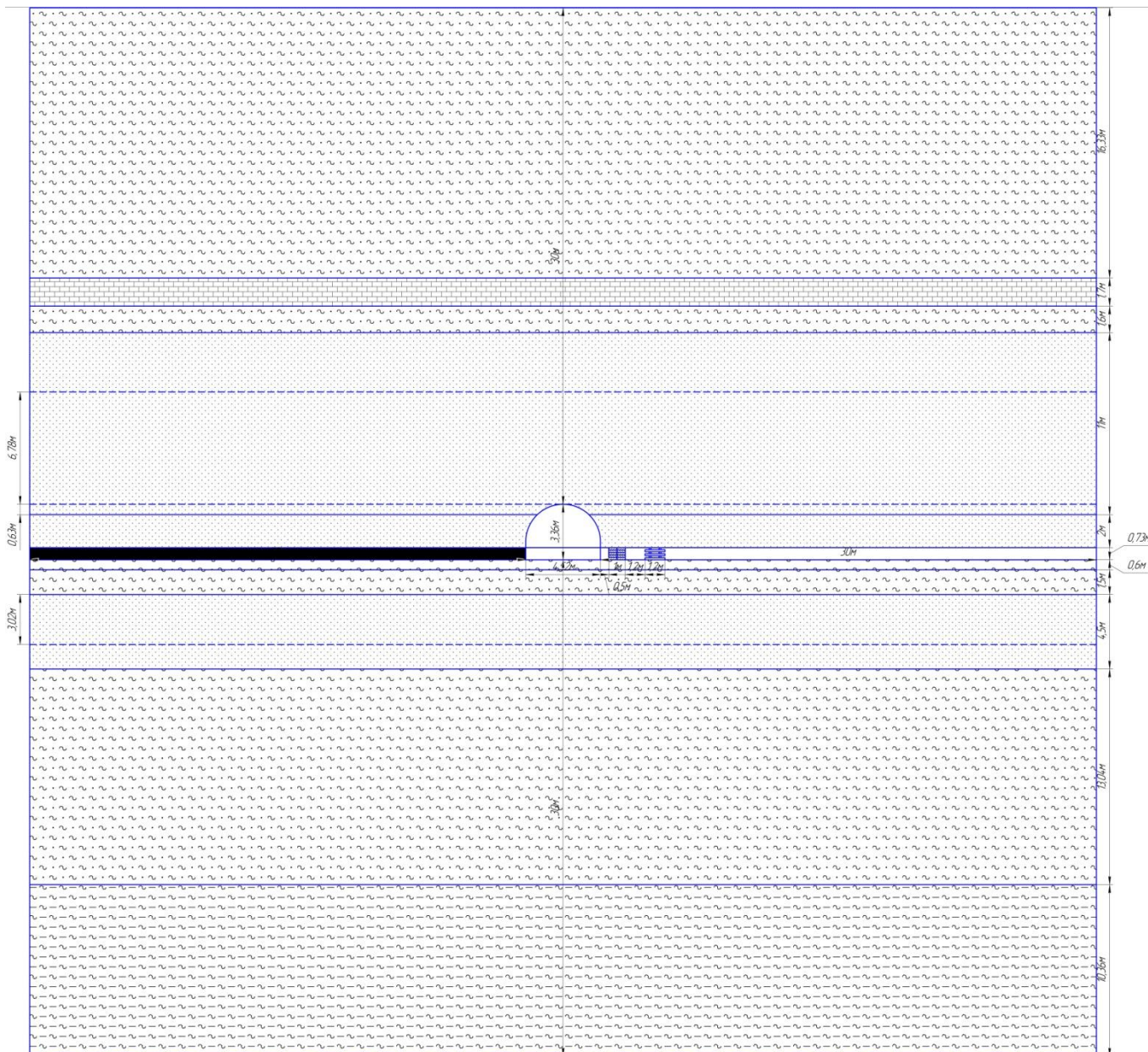


Рисунок 5.20 - Схема модели для условий шахты «Рассвет-1» (модель с лавой)

Паспорт участка был разбит на блоки (рисунок 5.21). Для каждого блока была определена несущая способность, модуль деформации (приложение М) и объемный вес (приложение Н) способами, описанными выше. Результаты расчётов сведены в таблицу 5.4. Порядок построения моделей (рисунок 5.22, приложение П) был таким же, как и в п.п. 5.1.1.

Свойства горных пород и охранных сооружений для условий шахты «Рассвет-1» (модель с лавой)

место	слой	порода	$m, м$	$\sigma_{сж}, МПа$	$\sigma_p, МПа$	$E, МПа$	$\mu$	$C, МПа$	$\varphi, ^\circ$	$\delta, ^\circ$	$\gamma, \frac{кг}{м^3}$
почва	0	Глинистый сланец	10,36	60	10,41	27,85e3	0,14	12,5	45	45	2,7325e3
	1	Песчаный сланец	16,5	65	14,8	26,9e3	0,24	15,51	38,98	38,98	2,7e3
	2	Песчаник	4,5	85	16,34	22,77e3	0,395	18,63	42,66	42,66	2,615e3
	3	Песчаный сланец	1,5	55	14,8	24,04e3	0,255	14,27	35,16	35,16	2,7e3
	4	Песчаный сланец	0,6	50	14,9	22,62e3	0,263	13,65	32,74	32,74	2,7e3
пласт	5	Уголь	0,73	15	1,5	0,42e3	0,08	9,9	38	28	1,52e3
кровля	6	Песчаник	2	66	12,49	18,51e3	0,372	14,35	43	43	2,615e3
	7	Песчаник	11	85	16,34	22,77e3	0,395	18,63	42,66	42,66	2,615e3
	8	Песчаный сланец	1,6	70	14,9	28,33e3	0,232	16,15	40,47	40,47	2,7e3
	9	Известняк	1,7	80	14,2	22,56e3	0,17	17	44,31	44,31	2,67e3
	10	Песчаный сланец	16,33	65	14,8	26,90e3	0,24	15,51	38,98	38,98	2,7e3
блок 1			-	0,523	-	4,742	0,3[212]	-	-	-	117,695
блок 2			-	0,181	-	1,795	0,3[212]	-	-	-	184,269
блок 3_1			-	2,175	-	24,427	0,3[212]	-	-	-	195,468
блок 3_2			-	0,981	-	11,135	0,3[212]	-	-	-	98,564
блок 4_1			-	0,981	-	11,189	0,3[212]	-	-	-	282,736
блок 4_2			-	0,238	-	1,99	0,3[212]	-	-	-	322,41
блок 4_3			-	0,926	-	10,643	0,3[212]	-	-	-	271,757
блок 5			-	9,511	-	943,26	0,3[212]	-	-	-	171,111
блок 6			-	11,588	-	146,889	0,3[212]	-	-	-	78,912
блок 7 (шахтный вариант)			-	11,36	-	133,545	0,3[212]	-	-	-	200,324
блок 7 (предлагаемый вариант)			-	24,041	-	269,365	0,3[212]	-	-	-	417,672



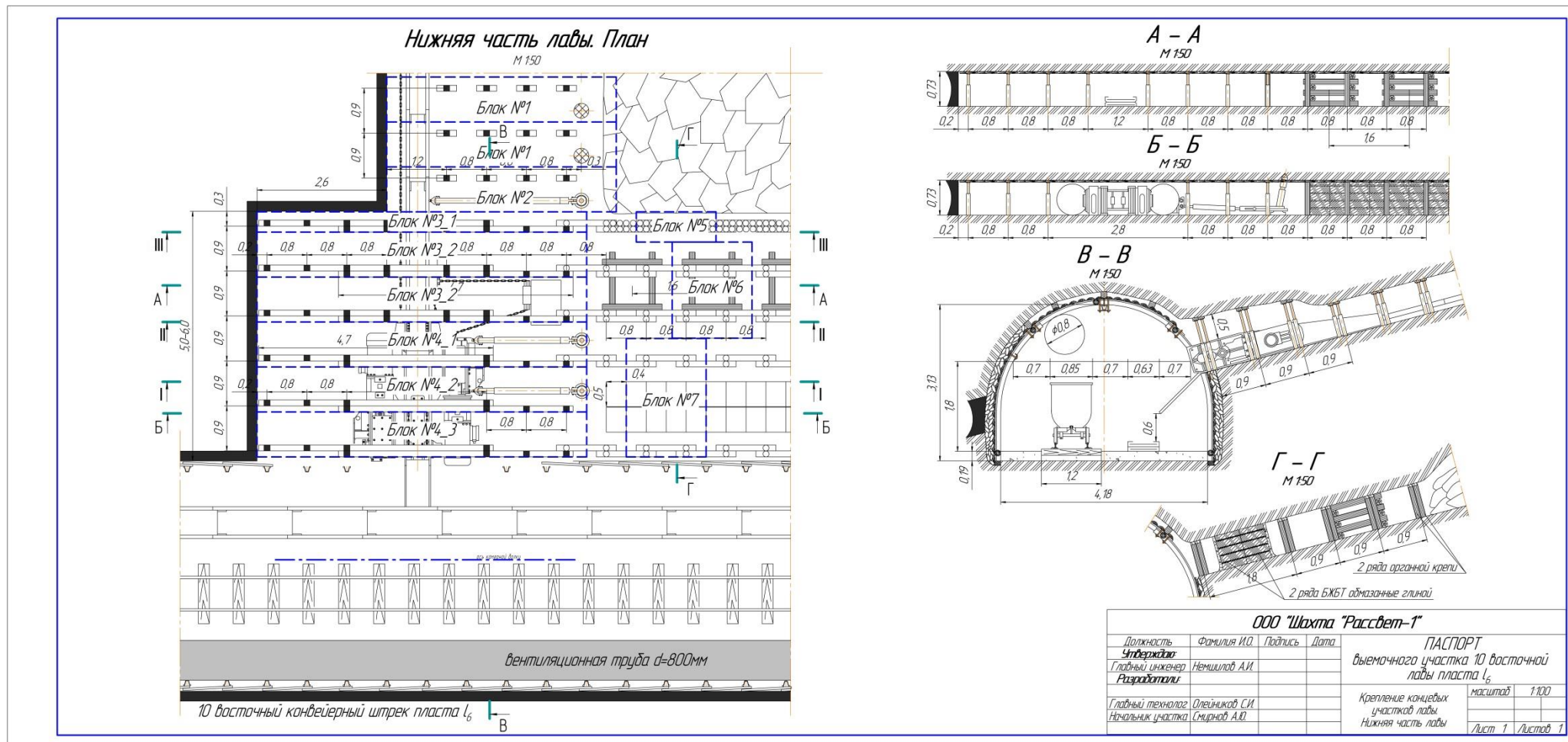
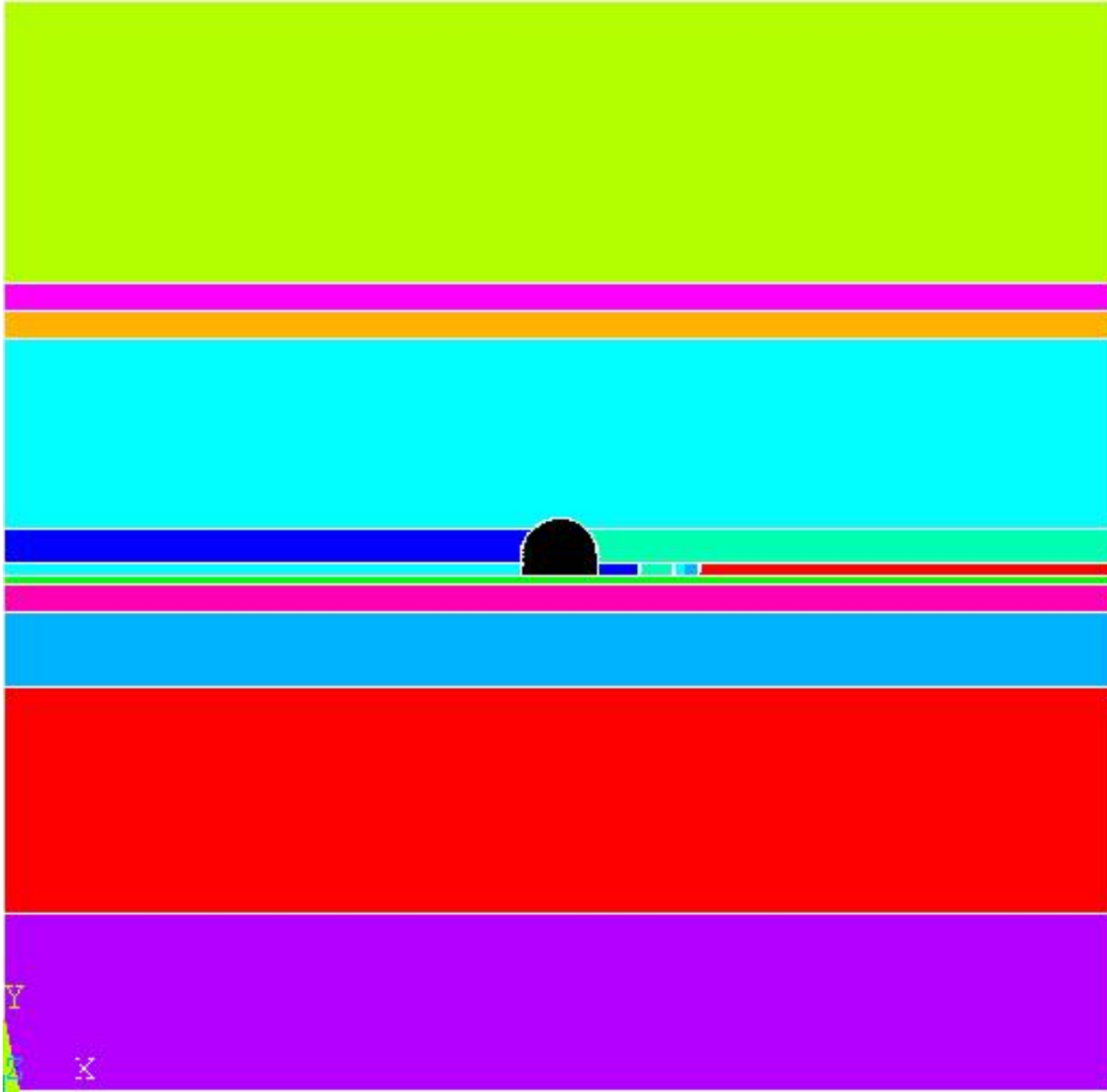
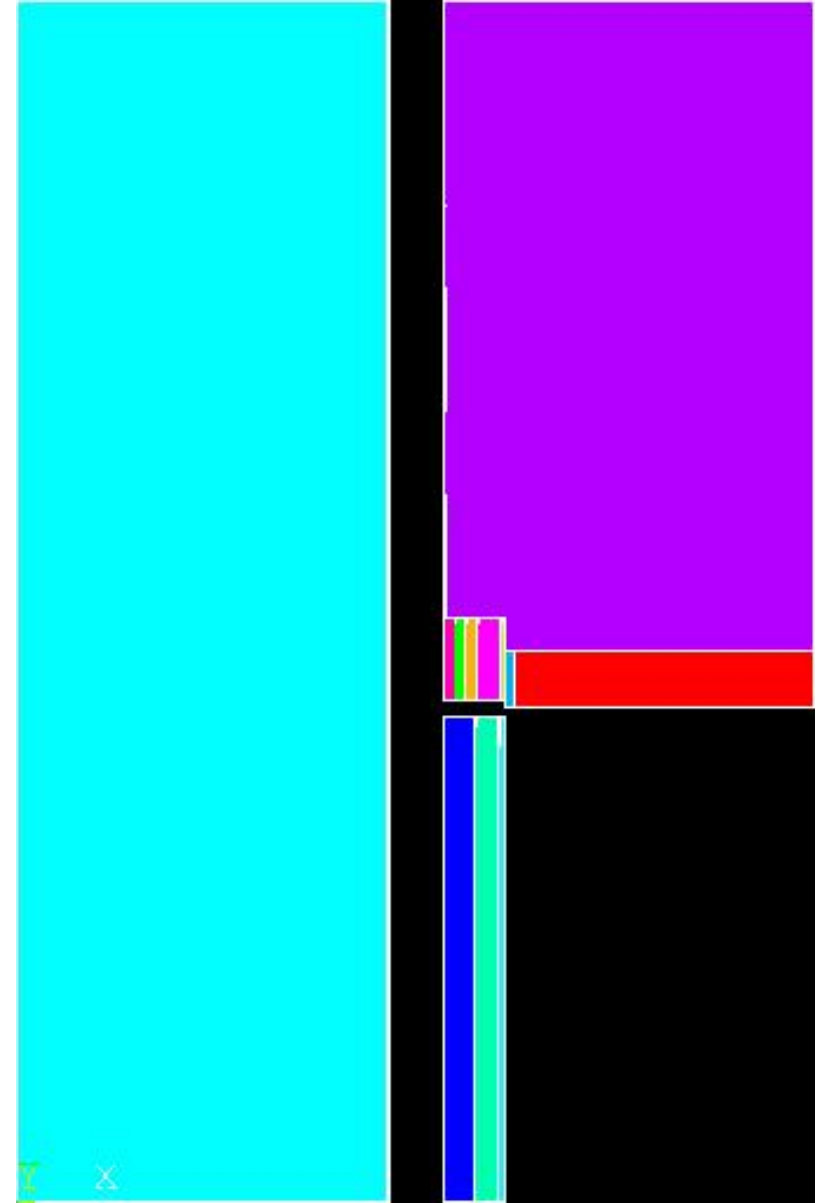


Рисунок 5.21 - ООО «Шахта «Рассвет-1». Паспорт выемочного участка 10 восточной лавы пл.  $l_6$ . Нижняя часть лавы. План. Разбиение паспорта на блоки (шахтный вариант)

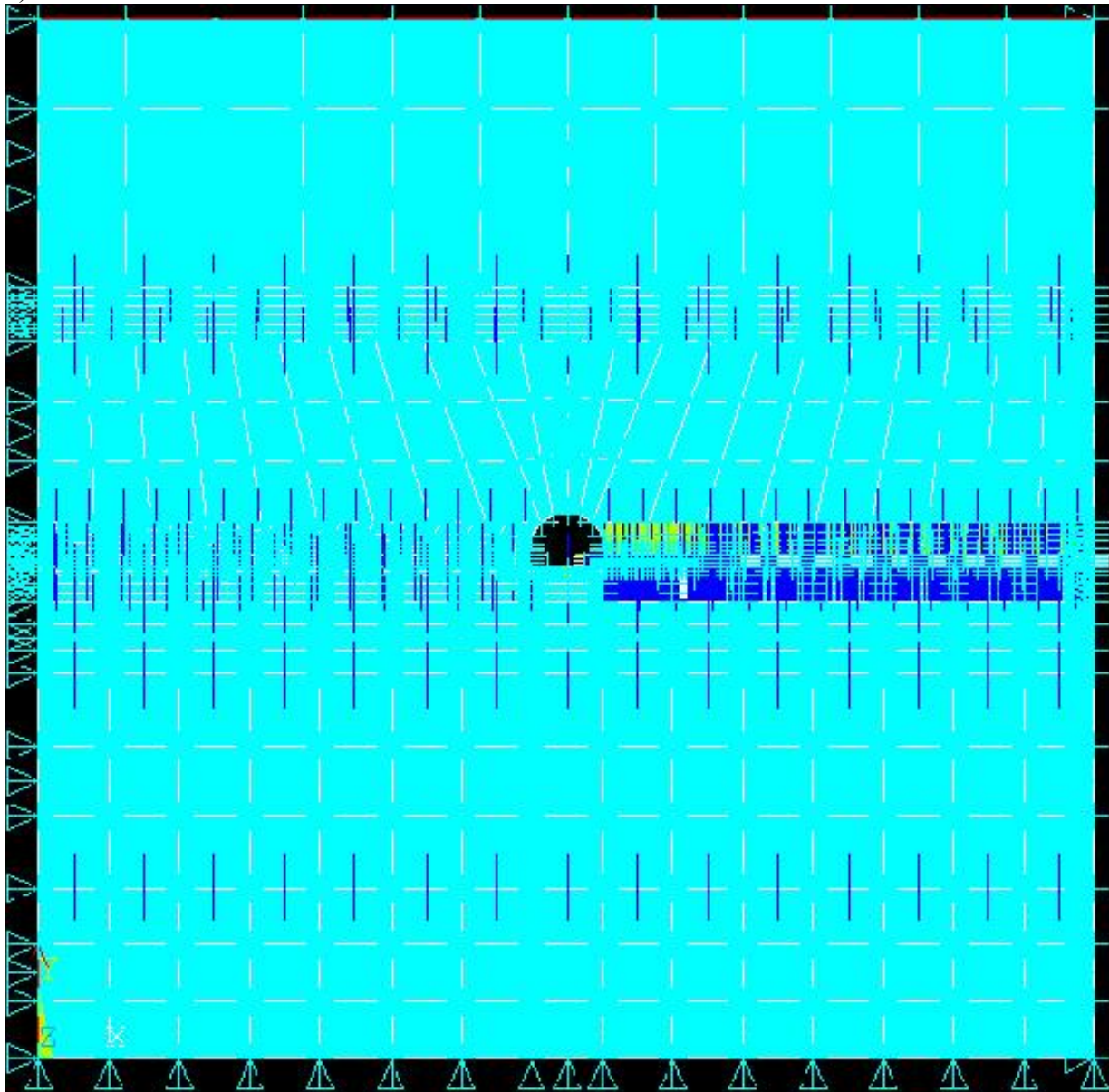
a)



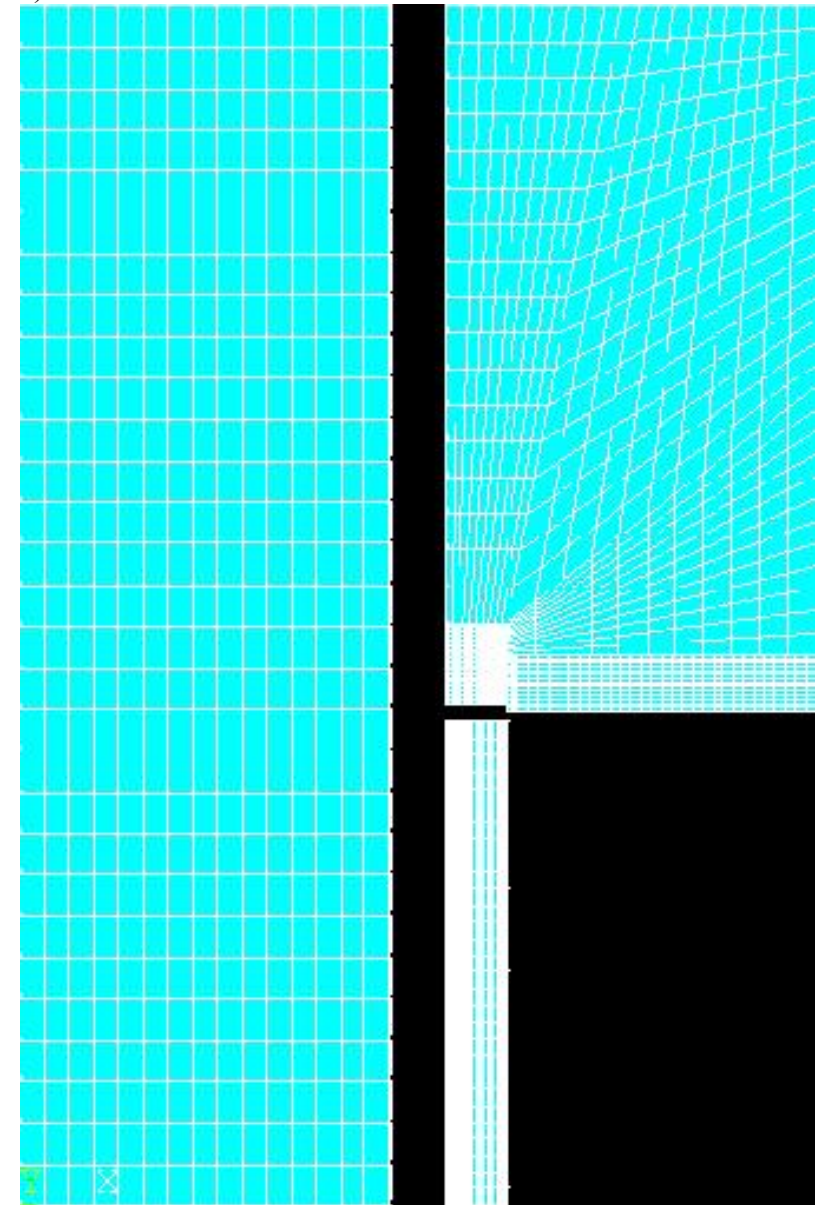
b)



B)



r)



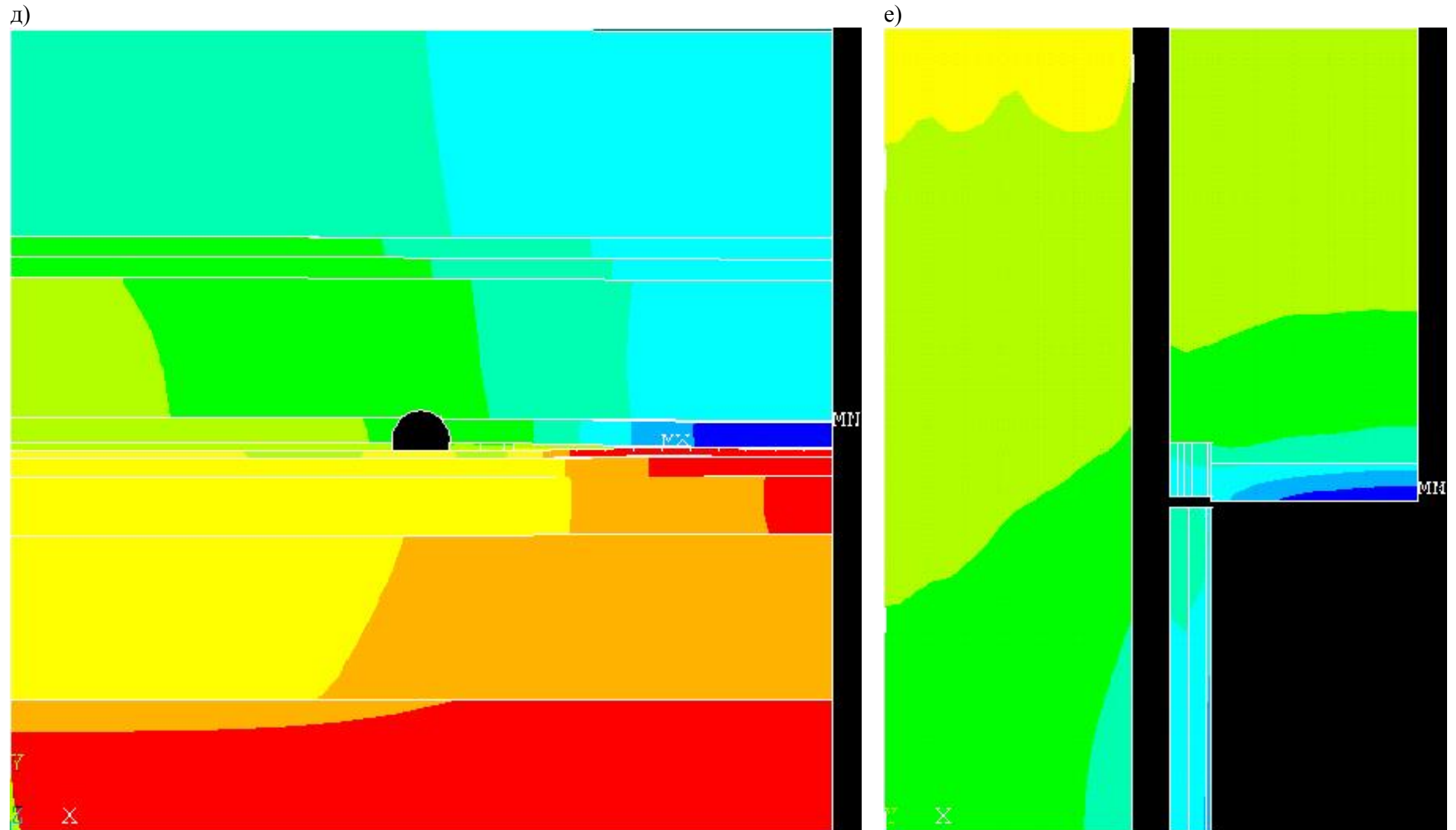


Рисунок 5.22 - Этапы типового расчёта в Ansys для условий шахты «Рассвет-1» (модель с лавой):  
 а, б – создание геометрической модели, в, г - разбиение модели с помощью элементов и приложение нагрузок,  
 д, е – просмотр и анализ результатов (торец и плоскость пласта)

Модуль деформации, удельный вес и удельные затраты  
на возведение тумб с распором для условий шахты «Рассвет-1»

$n_{\text{ряд}}^{\text{оп}}$ , ШТ	$d_{\text{пор}}$ , мм	$d_{\text{тр}}$ , мм	$L_{\text{оп}}$ , м	$P_{\text{max}}$ , МПа	$E_{\text{деф}}$ , МПа	$\gamma$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$C_{\text{уд}}$ , $\frac{\text{грн}}{\text{м}}$
1	5-10	0,1	0,6	15,24	213,008	334,596	59,94
2	5-10	0,1	0,6	21,84	315,810	654,320	119,87
3	5-10	0,1	0,6	28,00	398,033	974,043	179,81
1	10-20	0,1	0,6	12,03	189,129	334,596	59,94
2	10-20	0,1	0,6	18,99	274,477	654,320	119,87
3	10-20	0,1	0,6	20,23	334,816	974,043	179,81
1	5-10	0,12	1,2	11,86	168,629	171,773	38,03
2	5-10	0,12	1,2	14,06	225,289	328,673	76,05
3	5-10	0,12	1,2	19,91	288,202	485,572	114,08
1	10-20	0,12	1,2	11,07	156,803	171,773	38,03
2	10-20	0,12	1,2	14,01	204,101	328,673	76,05
3	10-20	0,12	1,2	18,08	253,402	485,572	114,08
1	5-10	0,14	0,8	14,01	206,670	244,972	71,32
2	5-10	0,14	0,8	20,02	304,393	475,071	142,64
3	5-10	0,14	0,8	28,00	405,171	705,170	213,96
1	10-20	0,14	0,8	13,17	187,890	244,972	71,32
2	10-20	0,14	0,8	18,01	266,038	475,071	142,64
3	10-20	0,14	0,8	20,39	340,752	705,170	213,96
1	5-10	0,16	1,6	11,69	167,230	126,893	43,90
2	5-10	0,16	1,6	16,18	226,598	238,914	87,80
3	5-10	0,16	1,6	19,65	284,298	350,934	131,70
1	10-20	0,16	1,6	11,09	155,910	126,893	43,90
2	10-20	0,16	1,6	14,73	203,563	238,914	87,80
3	10-20	0,16	1,6	17,90	250,338	350,934	131,70

Для того чтобы определить рациональные параметры предлагаемого варианта для данных горно-геологических условий при шаге первой и последующих посадок кровли, кроме модели с параметрами как в п.п. 5.1.1, были отработаны ещё 48 моделей (для шага первой посадки – 24 модели, и ещё 24 модели – для шага последующих посадок).

Эти модели различались модулем деформации предлагаемого охранного сооружения. Модули деформации (таблица 5.5) были получены после отработки 24 моделей охранных сооружений, построенных по принципу блока 7 (приложение М).

Такое количество моделей обусловлено построением 6-ти латинских кубов. Для каждого количества рядов тумб с распором  $n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} = 1; 2; 3$  шт для каждого диаметра породы  $d_{\text{пор}} = 5 \div 10\text{мм}; 10 \div 20\text{мм}$  был составлен латинский куб, в котором два параметра (диаметр трубки  $d_{\text{тр}}$ , м и шаг установки опалубок  $L_{\text{оп}}$ , м) варьировались на четырёх уровнях (таблица 5.5). Диаметр опалубки был постоянным и равным диаметру стандартной бочки из-под масла  $D_{\text{оп}} = 0,5715\text{ м}$  [215-217], которую можно получить бесплатно.

Были рассчитаны суммарные затраты на материалы и на оплату труда для предлагаемого и для шахтного варианта (приложение Р). По этому же принципу были рассчитаны затраты для тумб с распором при варьировании их параметров (таблица 5.5). Как видно из таблицы 5.5 даже самый дорогой вариант реализации тумб с распором ( $C_{\text{уд}} = 213,96 \frac{\text{грн}}{\text{м}}$ ) дешевле реализации шахтного варианта охранного сооружения ( $C_{\text{уд}} = 842,08 \frac{\text{грн}}{\text{м}}$ ) (приложение Р) в 3,94 раза (в ценах 2013 года).

Таким образом, затраты на реализацию предлагаемого способа в данных горно-геологических условиях не будут являться ограничивающим фактором при поиске его рациональных параметров.

### 5.2.2 Результаты моделирования

Результаты исследований представлены на рисунках 5.23-5.24. Анализ результатов позволил сделать следующие выводы: с одной стороны, БЖБТ менее эффективны тумб с распором, т.к. они не разрушаются из-за того, что практически не участвуют в поддержании выработки (рисунок 5.23); с другой - использование тумб с распором незначительно уменьшает разрушение от сжатия (рисунок 5.23) и от растяжения (рисунок 5.24), что исключает применение объёма разрушенных элементов в качестве критерия при выборе рациональных параметров тумб с распором.

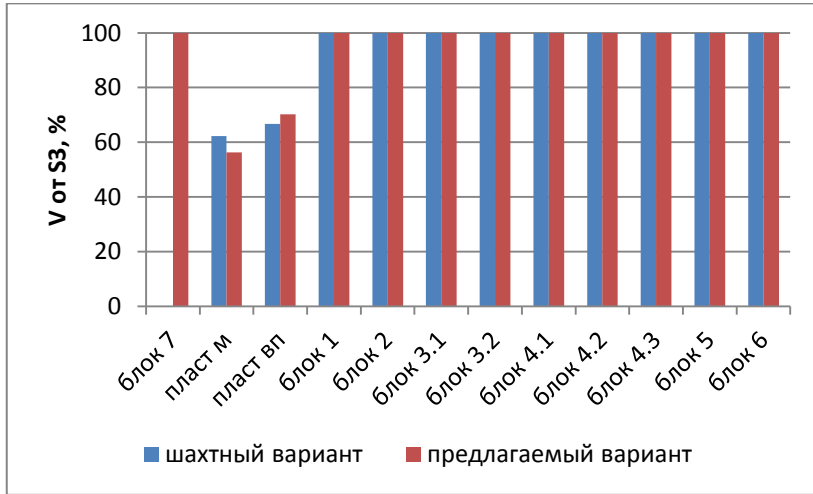


Рисунок 5.23 - Объем разрушенных от сжатия элементов  $V$  от  $S_3$ , %

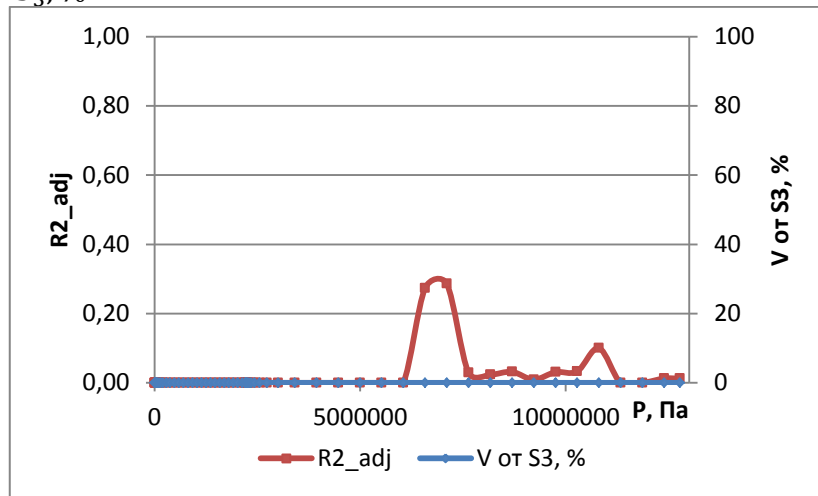


Рисунок 5.25 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 7 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (шахтный вариант)

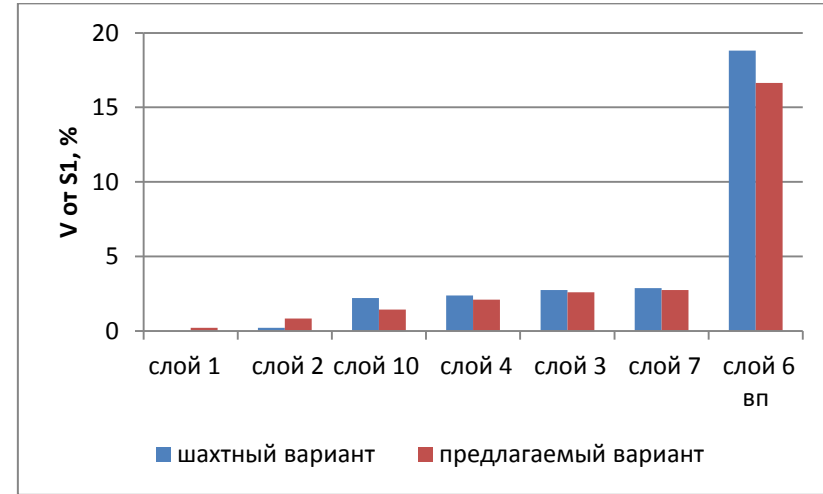


Рисунок 5.24 - Объем разрушенных от растяжения элементов  $V$  от  $S_1$ , %

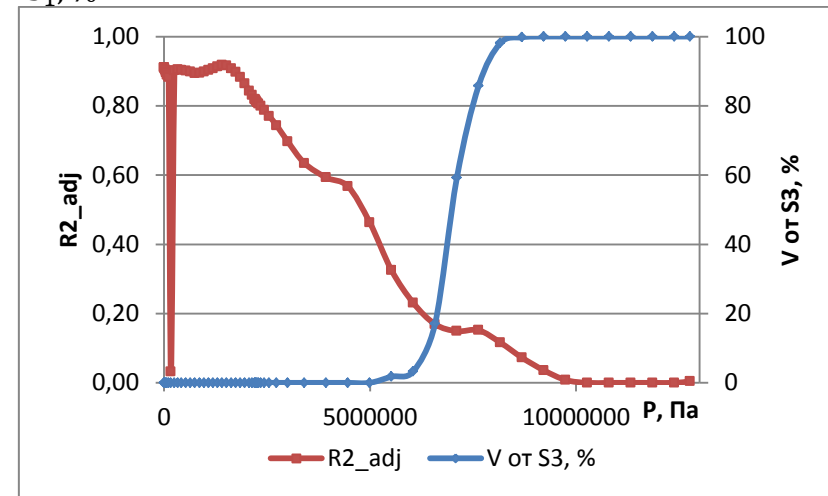


Рисунок 5.26 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 7 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (предлагаемый вариант)

При поиске нового критерия была проведена линейная регрессия. Для неё в качестве зависимой переменной были использованы вертикальные смещения в своде выработки: 25 точек - перед лавой, 25 точек - за лавой; в качестве независимой переменной – контактные давления на опоре: 50 точек с максимальным значением контактного давления.

Линейная регрессия была осуществлена для всех искусственных и естественных опор в плоскости пласта для всех подшагов нагружения. Её результатами были доля объяснённой дисперсии и знак коэффициента при независимой переменной. В 85,6% случаев знак коэффициента при независимой переменной был отрицательным. Это означает, что увеличение контактных давлений на опоре ведёт к уменьшению смещений в кровле выработки. Были построены графики зависимости доли объяснённой дисперсии от давления на верхнюю грань модели, которые показывали вклад опоры в поддержании выработки. Результаты исследований представлены на рисунках 5.25-5.26 и в приложении С. Они позволили выделить главные и вспомогательные опоры. К главным относятся те, на которые кровля опускается в первую очередь и вклад которых в поддержание выработки не уменьшается даже после того, как напряжения во всех её элементах не превысят предел прочности на сжатие (рисунки С.1-С.7 - пласт со стороны выработанного пространства; крепь в лаве; крепь в нише, расположенная напротив костров). К вспомогательным опорам относятся те, вклад которых в поддержание выработки уменьшается по мере их разрушения (рисунки С.8-С.22 – пласт со стороны массива; костры; органная крепь, БЖБТ и тумбы с распором, а также крепь в нише, расположенная напротив). Таким образом, тумбы с распором относятся к вспомогательным опорам (рисунки 5.25, 5.26). Очевидно, что для них увеличение площади под кривой доли объяснённой дисперсии означает увеличение эффективности работы по поддержанию выработки, которая может служить критерием при выборе их рациональных параметров. Увеличение площади под кривой разрушения естественных и искусственных опор и слоев пород будет означать, что начало разрушения наступило раньше.



Результаты исследований с использованием нового критерия представлены на рисунках 5.25-5.65 и в таблицах Т.1-Т4. Анализ результатов сравнения шахтного и предлагаемого варианта охранного сооружения в рамках принятого критерия позволил сделать следующие выводы:

1. тумбы с распором включаются в работу раньше БЖБТ: давление на контакте «тумба с распором – непосредственная кровля» переносится от передней грани модели к лаве (рисунки 5.27, 5.28), в результате чего работа крепи в нише по поддержанию выработки уменьшается (рисунки 5.21, 5.29, 5.30);

2. тумбы с распором снимают нагрузку с костров: давление на контактах «костёр – непосредственная кровля», «костёр – непосредственная почва» уменьшается (рисунки 5.31, 5.32). В результате разрушение костра наступает позже (рисунки 5.33, 5.34), что ведёт к увеличению эффективности его работы по поддержанию выработки (рисунки 5.35, 5.36).

3. тумбы с распором снимают нагрузку с пласта со стороны массива: давление на контактах «тумба с распором – непосредственная кровля», «тумба с распором – непосредственная почва» переносится от выработанного пространства к выработке (рисунки 5.37-5.40). В результате работа пласта со стороны массива по поддержанию выработки уменьшается (рисунки 5.41, 5.42).

4. тумбы с распором принимают нагрузку на себя: давление на контактах «тумба с распором – непосредственная кровля», «тумба с распором – непосредственная почва» увеличивается. Чем выше модуль деформации тумб, тем давление на контакте «тумба с распором – непосредственная почва» выше (рисунки 5.43-5.45). В результате сжимающие напряжения в тумбе увеличиваются. Чем выше модуль деформации тумб, тем сжимающие напряжения выше (рисунки 5.46, 5.47). Это ведет к тому, что эффективность работы тумбы с распором по поддержанию выработки при применении предлагаемого варианта – увеличивается (рисунки 5.48, 5.49), а при увеличении модуля деформации тумб – уменьшается (рисунки 5.50, 5.51).

5. как следствие первых четырех пунктов – тумба с распором формирует магистральную трещину не от растяжения, а от сжатия.

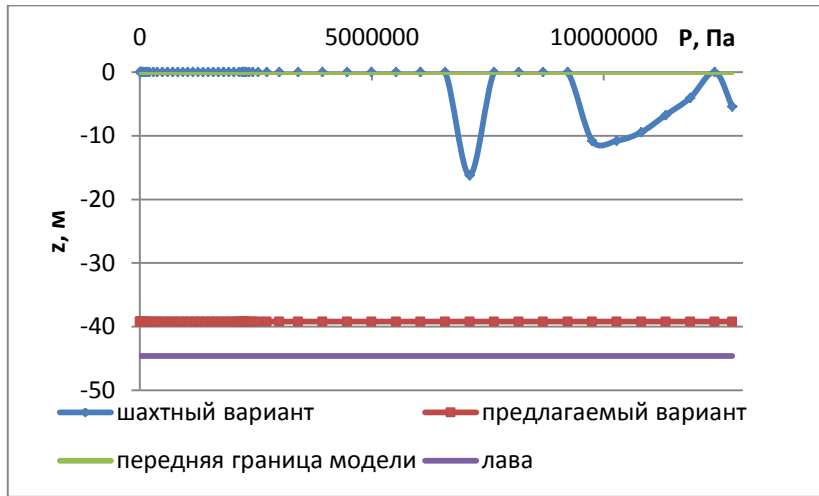


Рисунок 5.27 - График зависимости  $z, м$  горизонтальной координаты места расположения максимального контактного давления на контакте «слой 6 – блок 7» от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P, Па$  ( $Ш_0 = 50м$ )

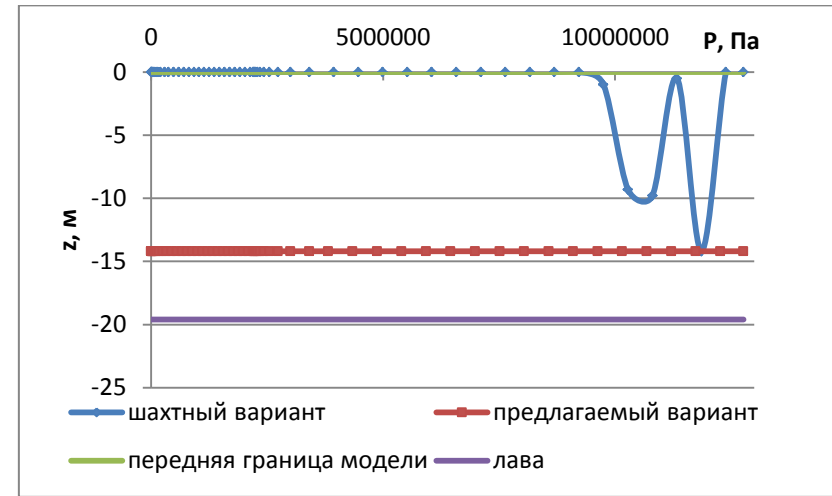


Рисунок 5.28 - График зависимости  $z, м$  горизонтальной координаты места расположения максимального контактного давления на контакте «слой 6 – блок 7» от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P, Па$  ( $Ш_п = 15м$ )

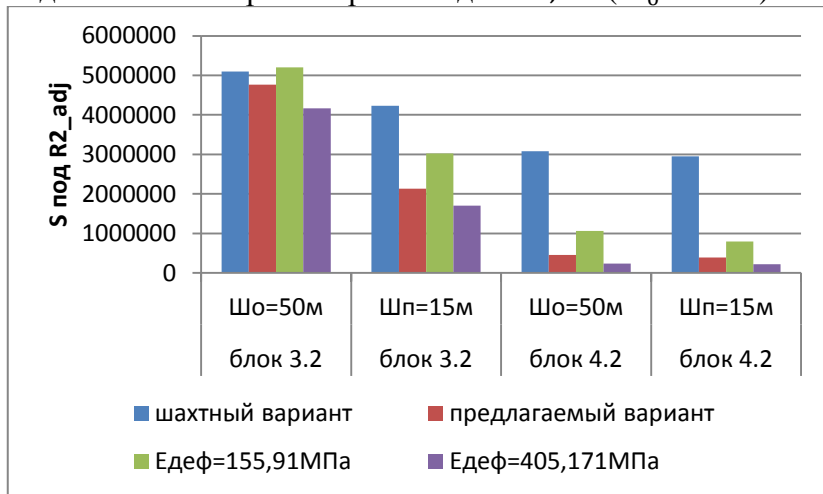


Рисунок 5.29 - Площадь под кривой доли объясненной дисперсии  $S_{\text{под } R^2_{adj}}$

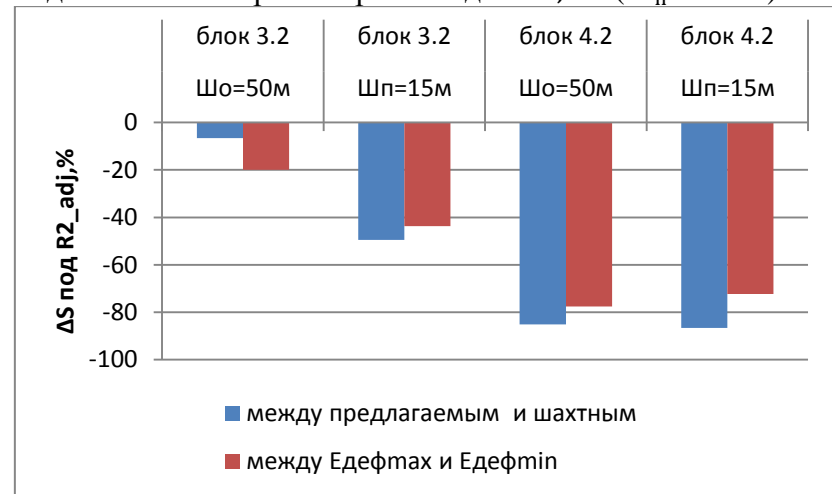


Рисунок 5.30 - Разность площадей под кривыми доли объясненной дисперсии  $\Delta S_{\text{под } R^2_{adj},\%}$

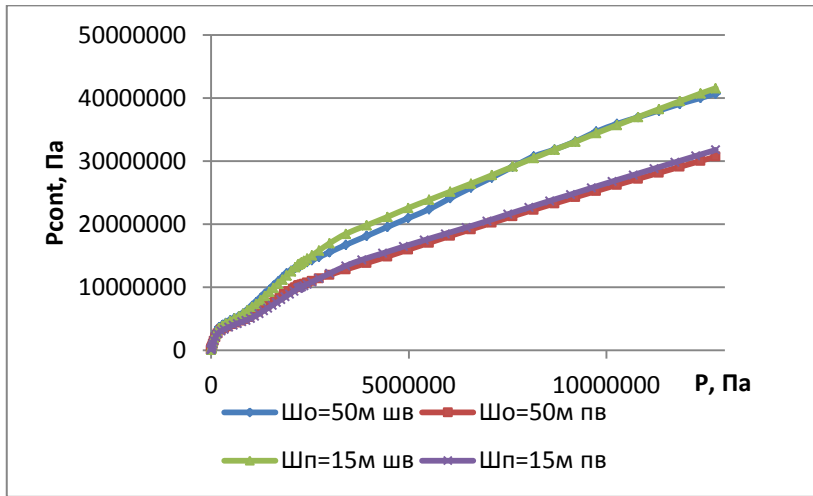


Рисунок 5.31 - График зависимости давления на контакте «слой 6 – блок 6»  $P_{cont}$ , Па от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па

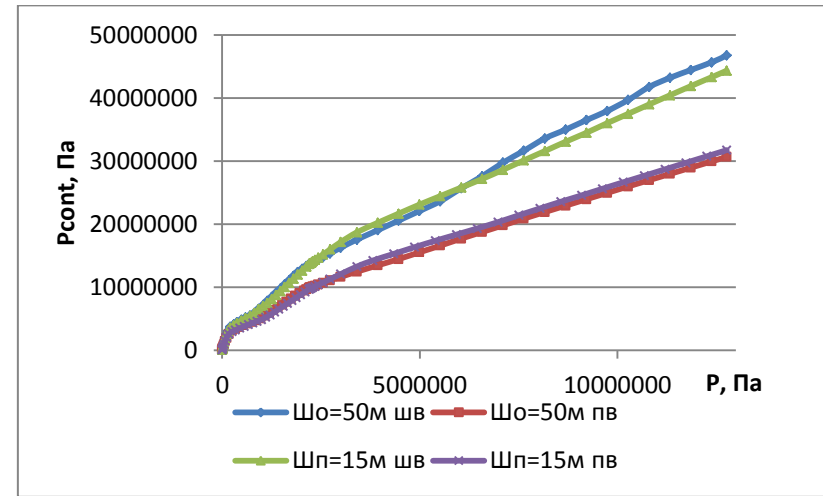


Рисунок 5.32 - График зависимости давления на контакте «слой 5 – блок 6»  $P_{cont}$ , Па от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па

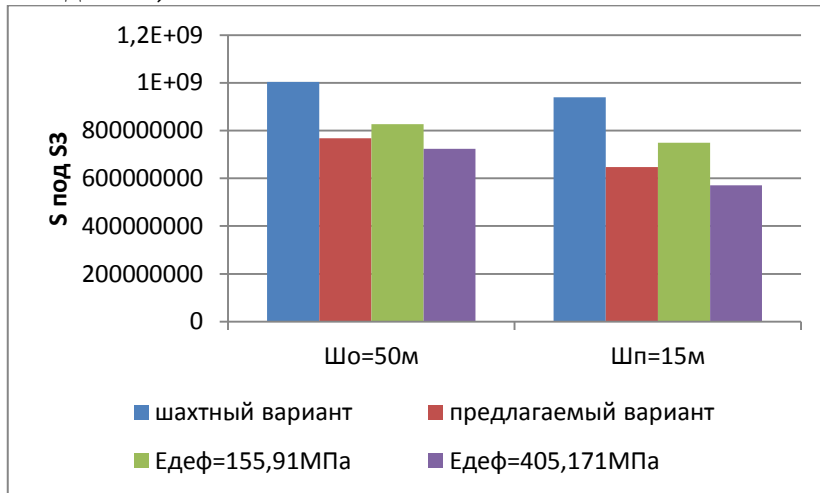


Рисунок 5.33 - Площадь под кривой разрушения от сжатия  $S_{под S_3}$  в блоке 6

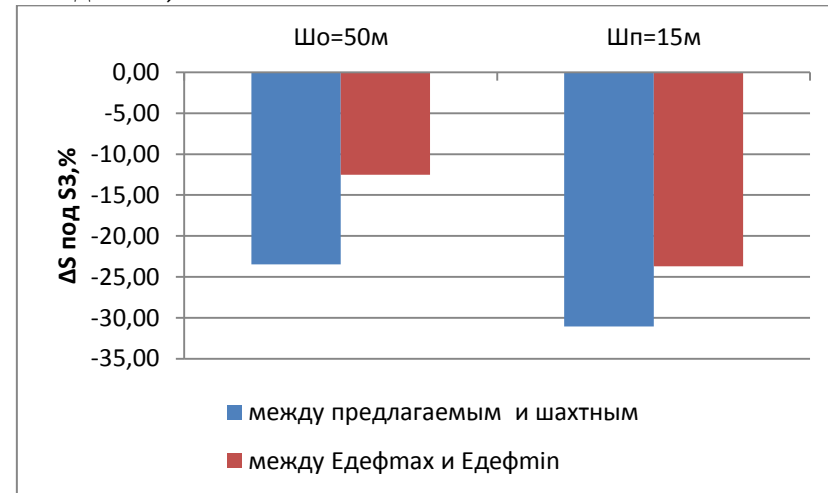


Рисунок 5.34 - Разность площадей под кривыми разрушения от сжатия  $\Delta S_{под S_3}$  в блоке 6

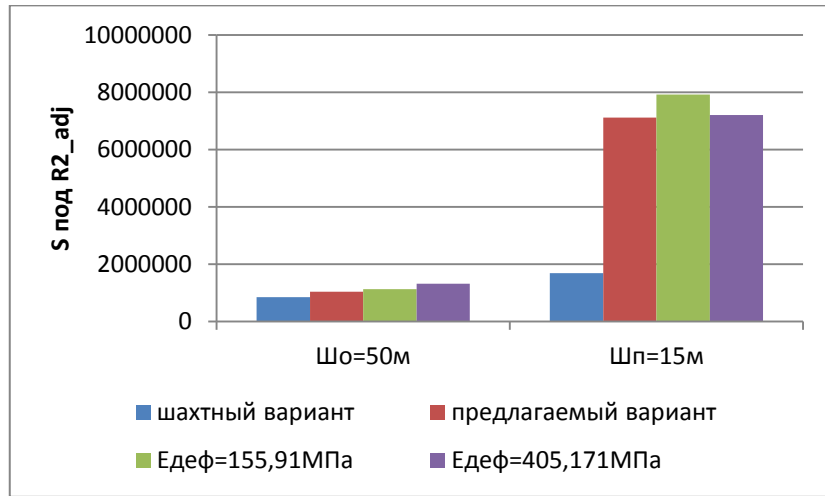


Рисунок 5.35 - Площадь под кривой доли объясненной дисперсии  $S_{\text{под } R_{adj}^2}$  для блока 6

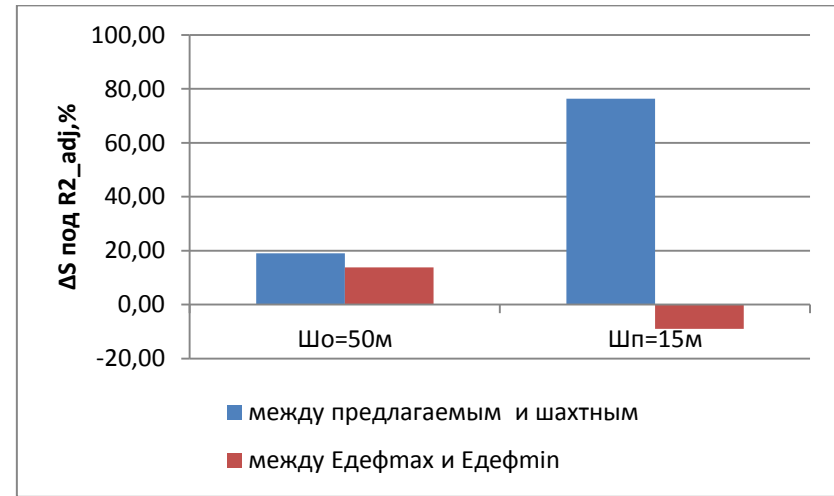


Рисунок 5.36 - Разность площадей под кривыми доли объясненной дисперсии  $\Delta S_{\text{под } R_{adj}^2}$  для блока 6



Рисунок 5.37 - График зависимости  $x, \text{м}$  горизонтальной координаты места расположения максимального контактного давления на контакте «слой 4 – блок 7» от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P, \text{Па}$  ( $\text{Ш}_0 = 50\text{м}$ )

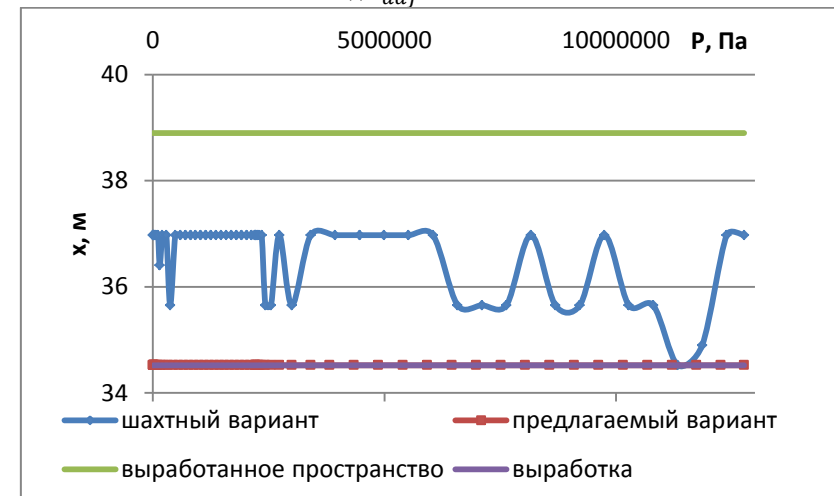


Рисунок 5.38 - График зависимости  $x, \text{м}$  горизонтальной координаты места расположения максимального контактного давления на контакте «слой 4 – блок 7» от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P, \text{Па}$  ( $\text{Ш}_п = 15\text{м}$ )

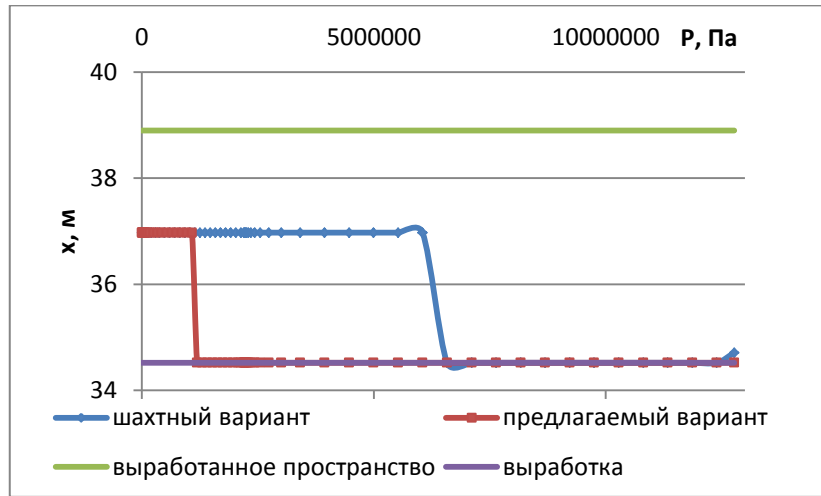


Рисунок 5.39 - График зависимости  $x, \text{ м}$  горизонтальной координаты места расположения максимального контактного давления на контакте «слой 6 – блок 7» от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P, \text{ Па}$  ( $\text{Ш}_0 = 50\text{ м}$ )

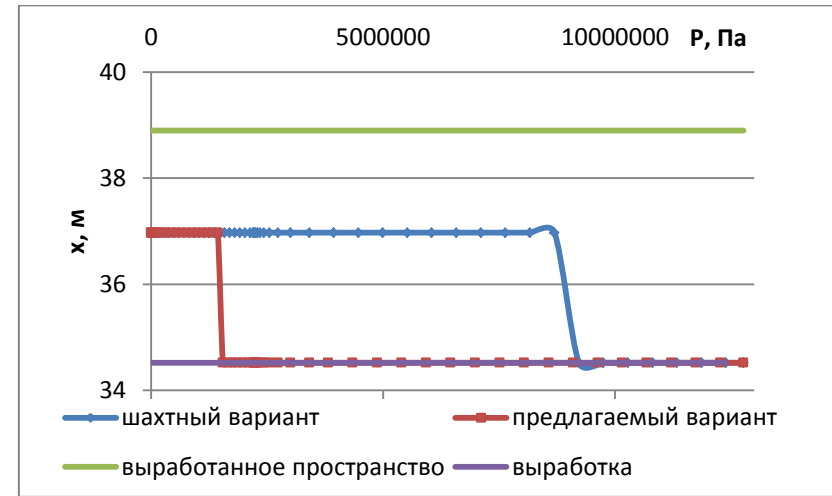


Рисунок 5.40 - График зависимости  $x, \text{ м}$  горизонтальной координаты места расположения максимального контактного давления на контакте «слой 6 – блок 7» от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P, \text{ Па}$  ( $\text{Ш}_\text{п} = 15\text{ м}$ )

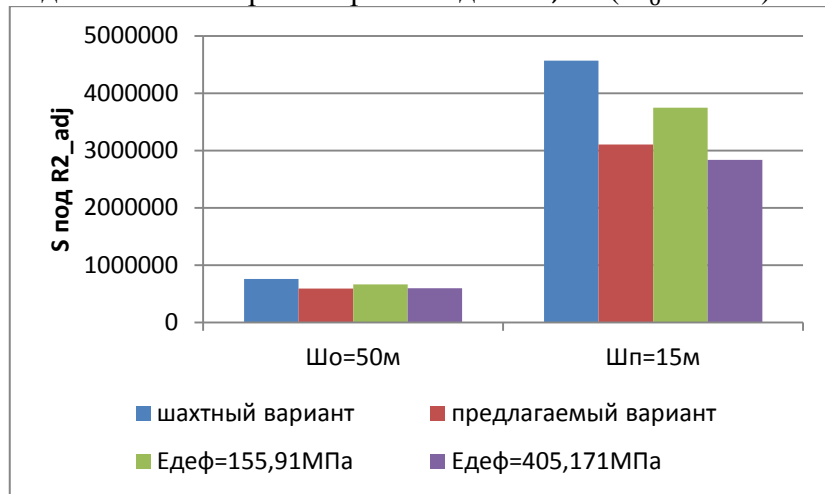


Рисунок 5.41 - Площадь под кривой доли объясненной дисперсии  $S_{\text{под } R2_{\text{adj}}}$  для пласта со стороны массива

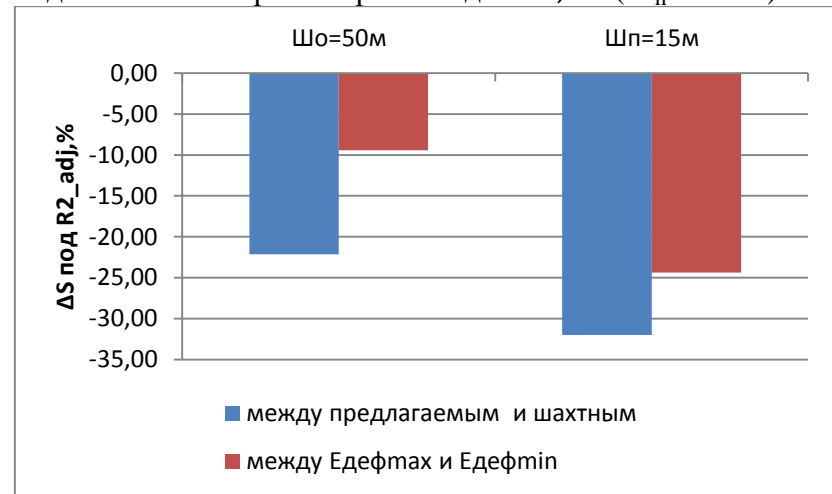


Рисунок 5.42 - Разность площадей под кривыми доли объясненной дисперсии  $\Delta S_{\text{под } R2_{\text{adj}}}$  для пласта со стороны массива

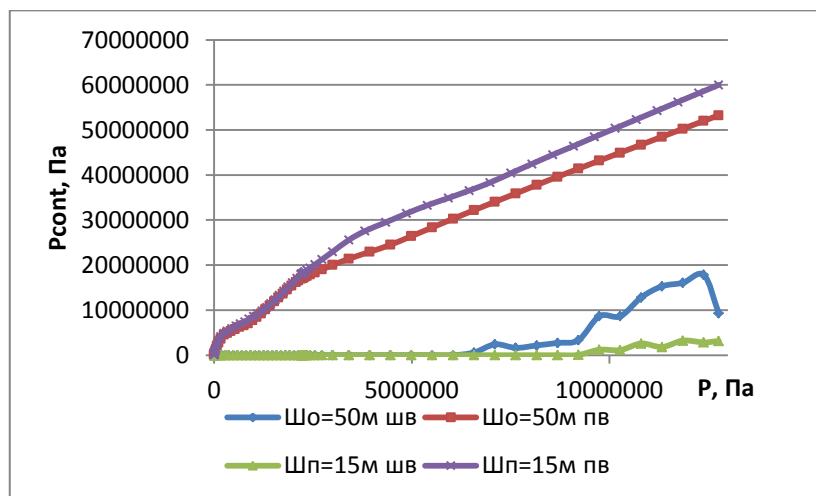


Рисунок 5.43 - График зависимости давления на контакте «слой 6 – блок 7»  $P_{cont}$ , Па от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па

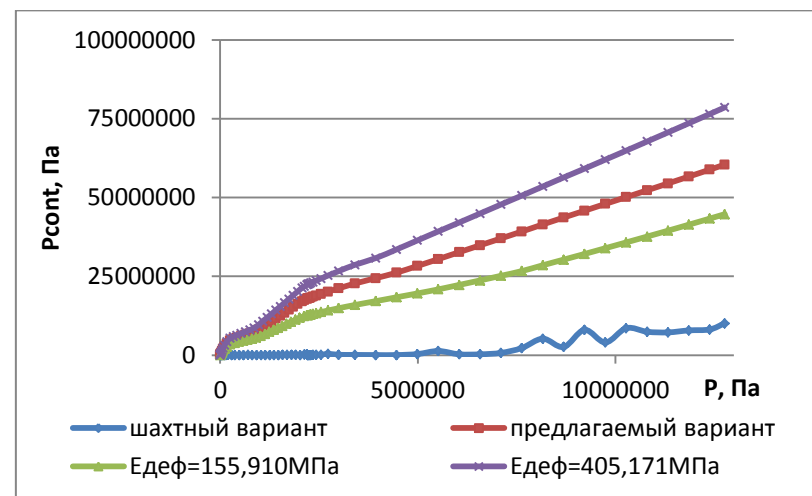


Рисунок 5.44 - График зависимости давления на контакте «слой 5 – блок 7»  $P_{cont}$ , Па от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па ( $Ш_0 = 50\text{м}$ )

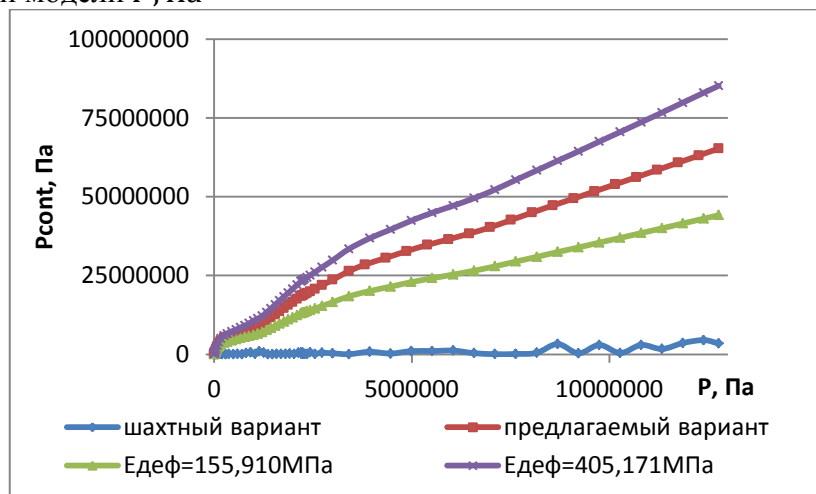


Рисунок 5.45 - График зависимости давления на контакте «слой 5 – блок 7»  $P_{cont}$ , Па от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па ( $Ш_{п} = 15\text{м}$ )

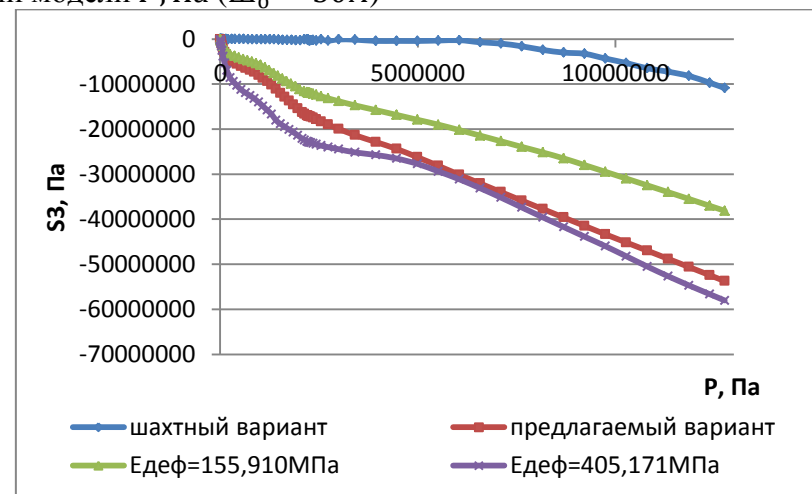


Рисунок 5.46 - График зависимости сжимающих напряжений в блоке 7  $S_3$ , Па от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па ( $Ш_0 = 50\text{м}$ )

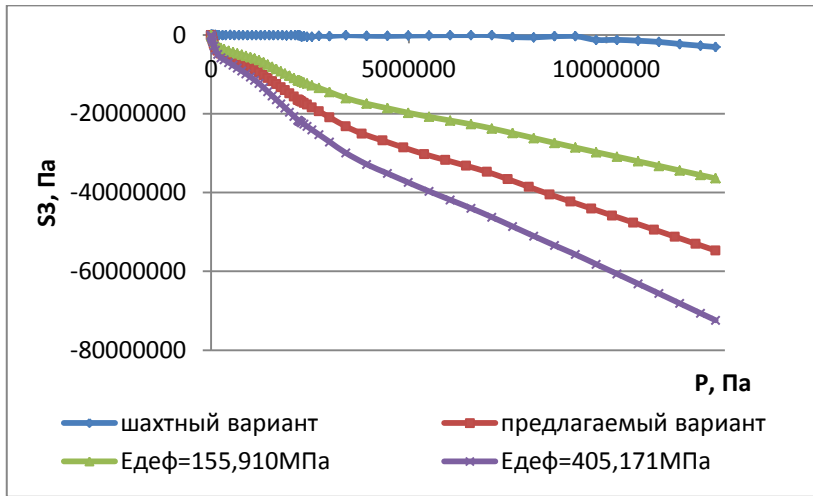


Рисунок 5.47 - График зависимости сжимающих напряжений в блоке 7  $S_3$ , Па от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па ( $Ш_{II} = 15\text{м}$ )

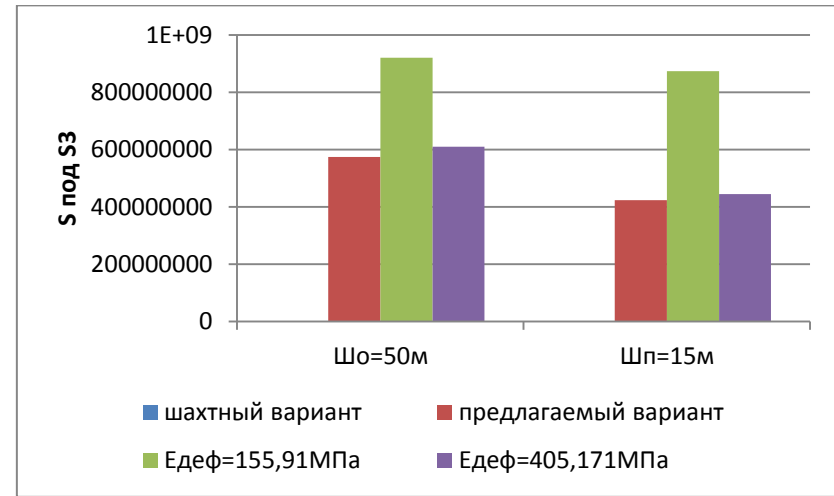


Рисунок 5.48 - Площадь под кривой разрушения от сжатия  $S_{под S_3}$  в блоке 7

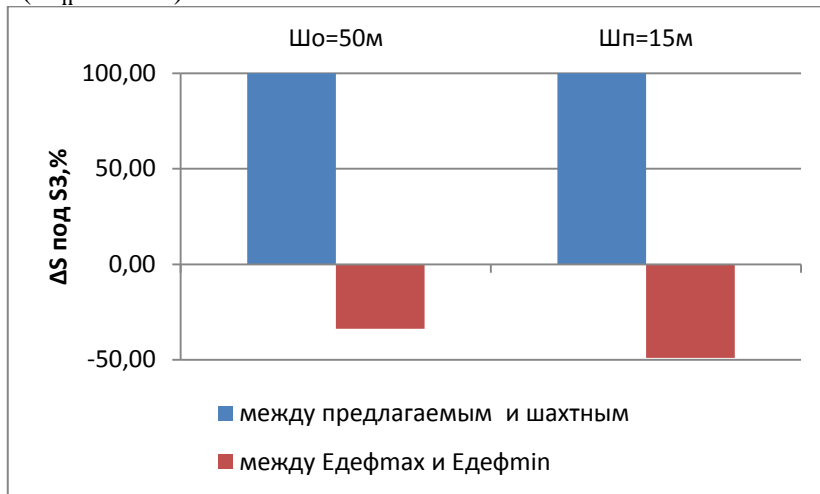


Рисунок 5.49 - Разность площадей под кривыми разрушения от сжатия  $\Delta S_{под S_3}$  в блоке 7

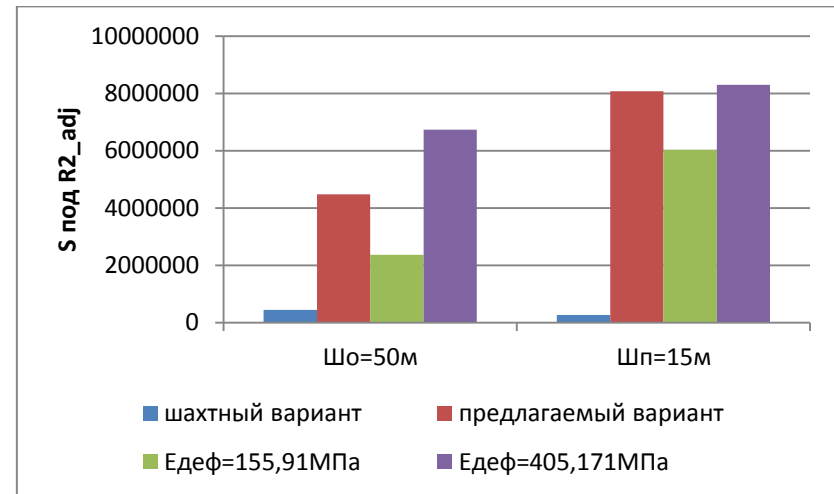


Рисунок 5.50 - Площадь под кривой доли объясненной дисперсии  $S_{под R_{adj}^2}$  для блока 7

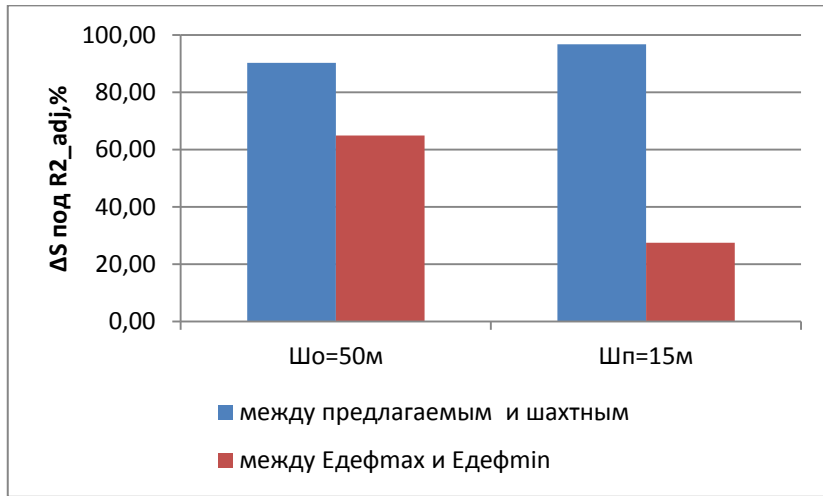


Рисунок 5.51 - Разность площадей под кривыми доли объясненной дисперсии  $\Delta S_{\text{под } R_{adj}^2}$  для блока 7

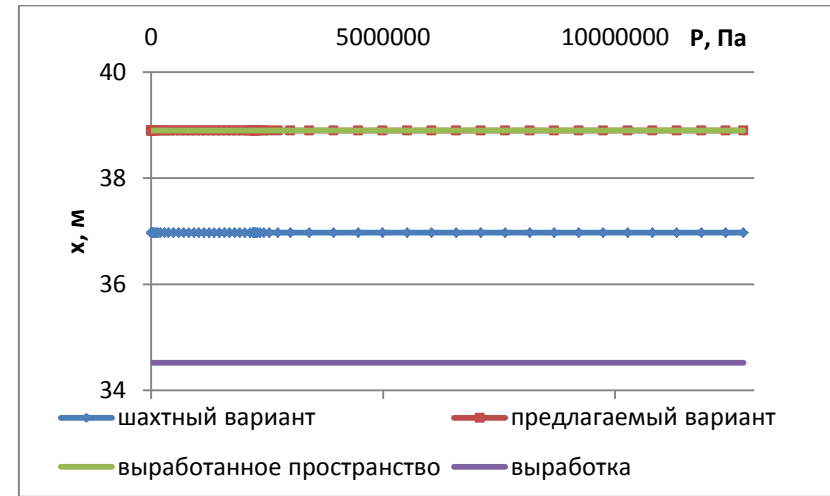


Рисунок 5.52 - График зависимости  $x, \text{м}$  горизонтальной координаты места расположения максимального сжимающего напряжения в блоке 6 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P, \text{Па}$  ( $\text{Ш}_0 = 50\text{м}$ )

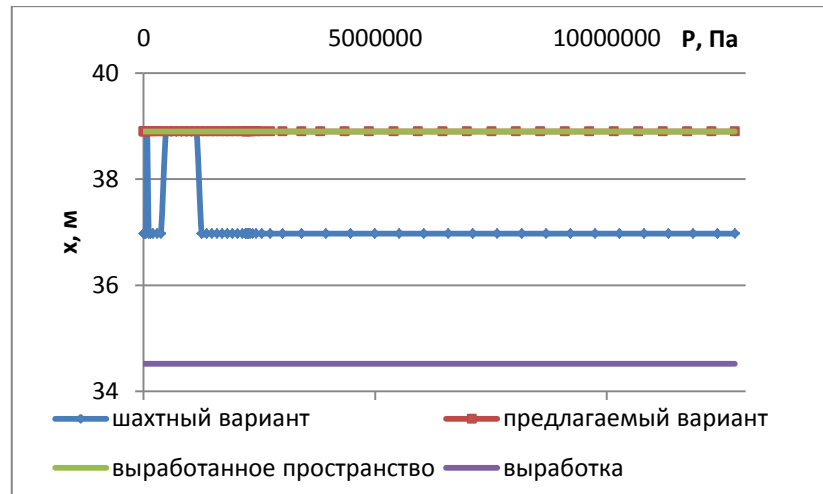


Рисунок 5.53 - График зависимости  $x, \text{м}$  горизонтальной координаты места расположения максимального сжимающего напряжения в блоке 6 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P, \text{Па}$  ( $\text{Ш}_п = 15\text{м}$ )

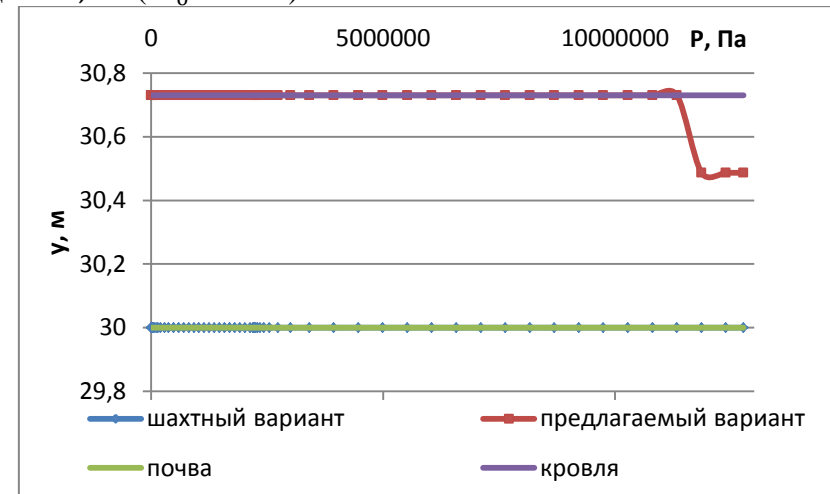


Рисунок 5.54 - График зависимости  $y, \text{м}$  вертикальной координаты места расположения максимального сжимающего напряжения в блоке 6 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P, \text{Па}$  ( $\text{Ш}_0 = 50\text{м}$ )



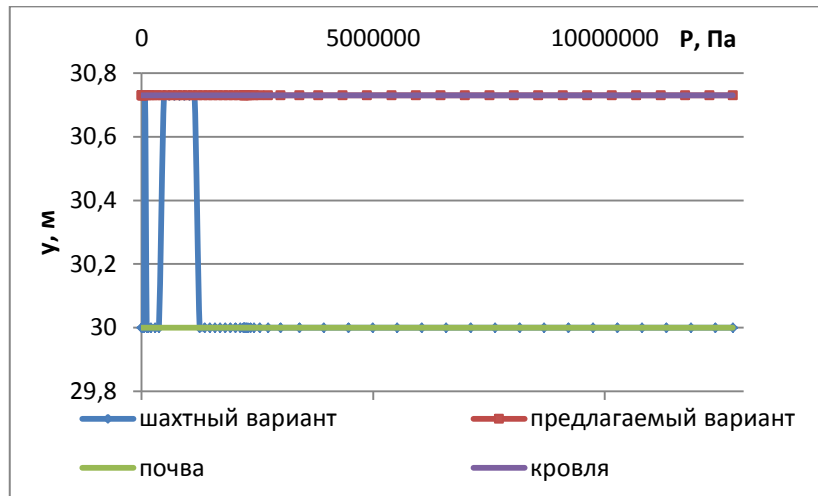


Рисунок 5.55 - График зависимости  $y, \text{м}$  вертикальной координаты места расположения максимального сжимающего напряжения в блоке 6 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P, \text{Па}$  ( $\text{Ш}_\Pi = 15\text{м}$ )

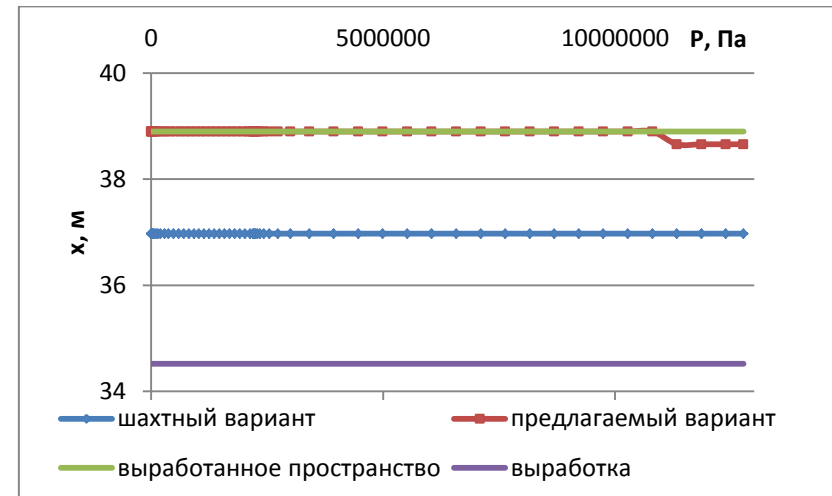


Рисунок 5.56 - График зависимости  $x, \text{м}$  горизонтальной координаты места расположения максимального контактного давления на контакте «слой 6 – блок 6» от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P, \text{Па}$  ( $\text{Ш}_0 = 50\text{м}$ )

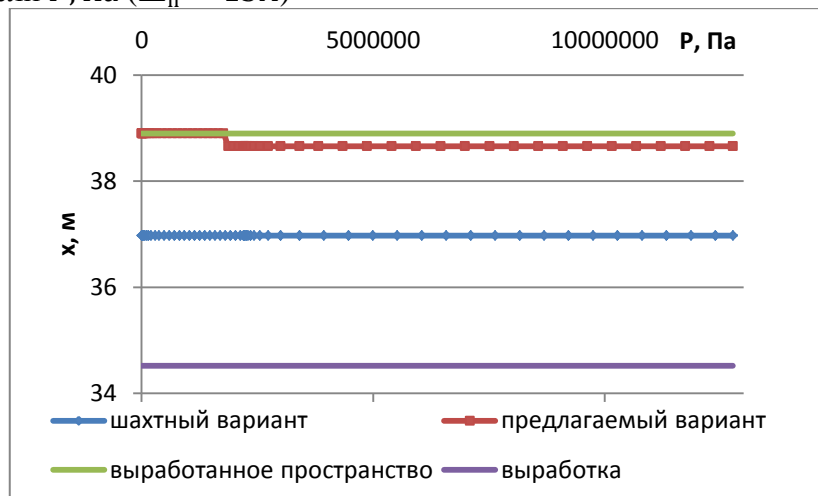


Рисунок 5.57 - График зависимости  $x, \text{м}$  горизонтальной координаты места расположения максимального контактного давления на контакте «слой 6 – блок 6» от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P, \text{Па}$  ( $\text{Ш}_\Pi = 15\text{м}$ )

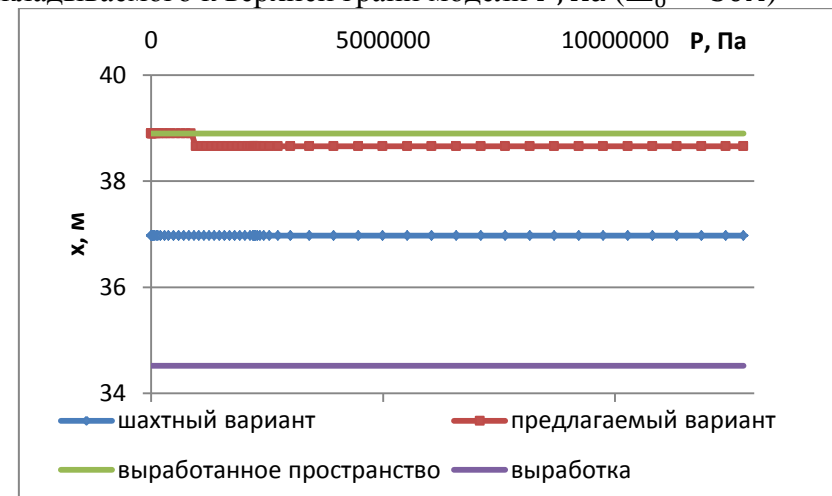


Рисунок 5.58 - График зависимости  $x, \text{м}$  горизонтальной координаты места расположения максимального контактного давления на контакте «слой 4 – блок 6» от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P, \text{Па}$  ( $\text{Ш}_0 = 50\text{м}$ )

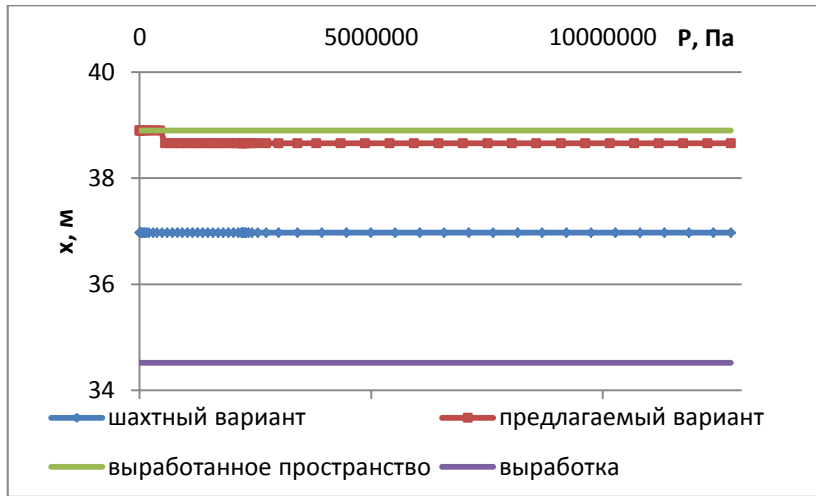


Рисунок 5.59 - График зависимости  $x$ , м горизонтальной координаты места расположения максимального контактного давления на контакте «слой 4 – блок 6» от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па ( $Ш_{п} = 15$ м)

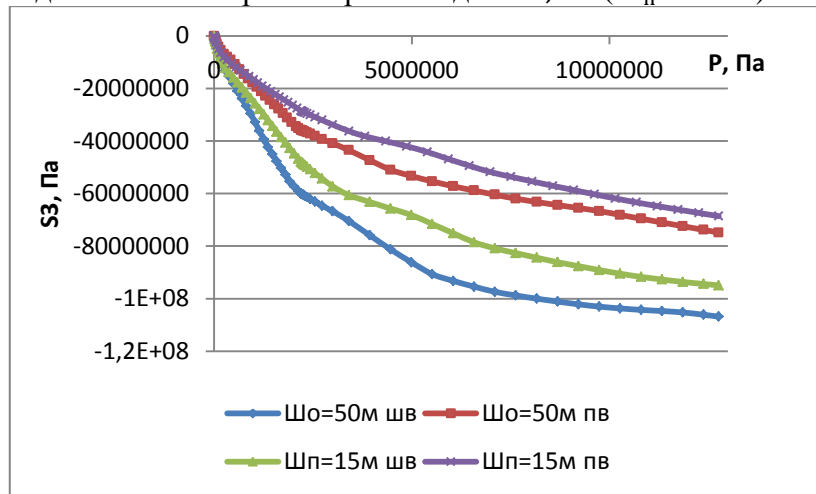


Рисунок 5.61 - График зависимости сжимающего напряжения в слое 6 со стороны выработанного пространства  $P_{cont}$ , Па от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па

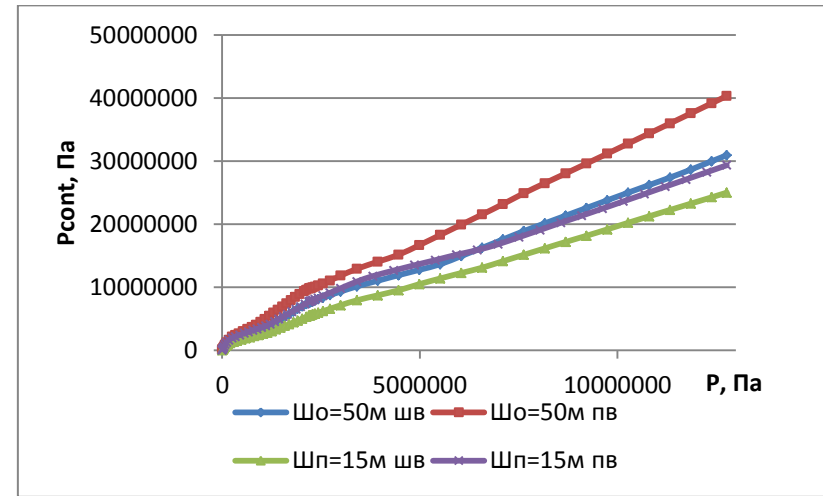


Рисунок 5.60 - График зависимости давления на контакте «слой 6 – слой 7» со стороны выработанного пространства  $P_{cont}$ , Па от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па

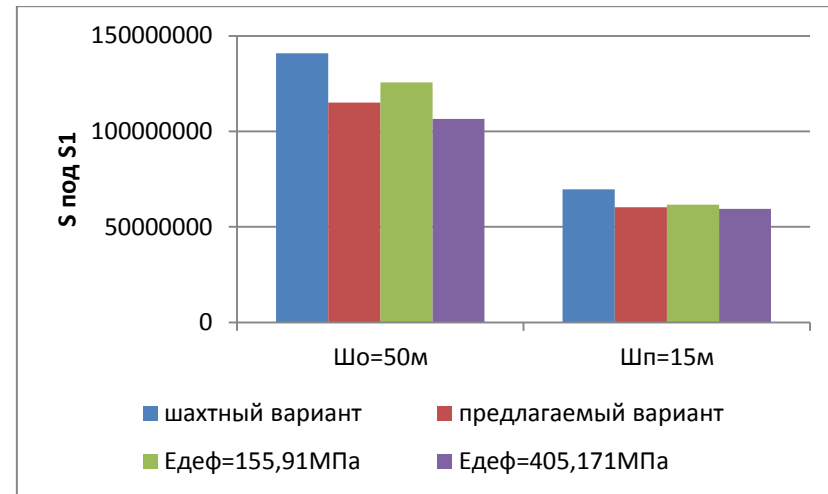


Рисунок 5.62 - Площадь под кривой разрушения от растяжения  $S$  под  $S_1$  в слое 6 со стороны выработанного пространства

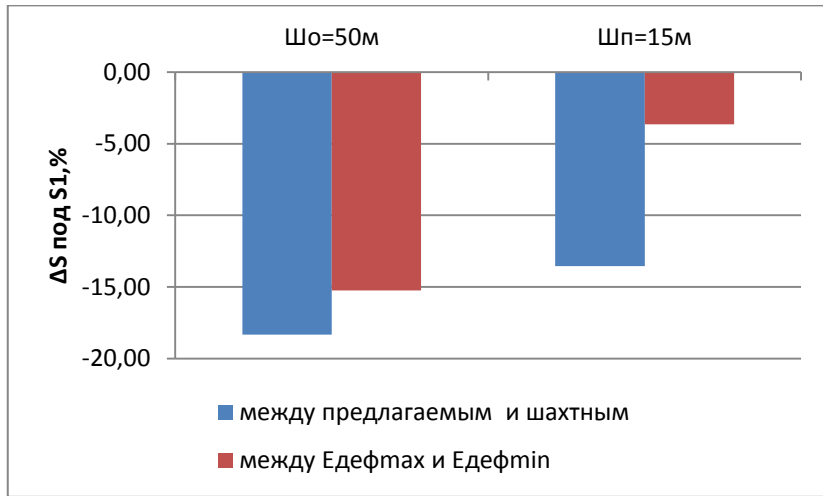


Рисунок 5.63 - Разность площадей под кривыми разрушения от растяжения  $S_{\text{под } S_1}$  в слое 6 со стороны выработанного пространства

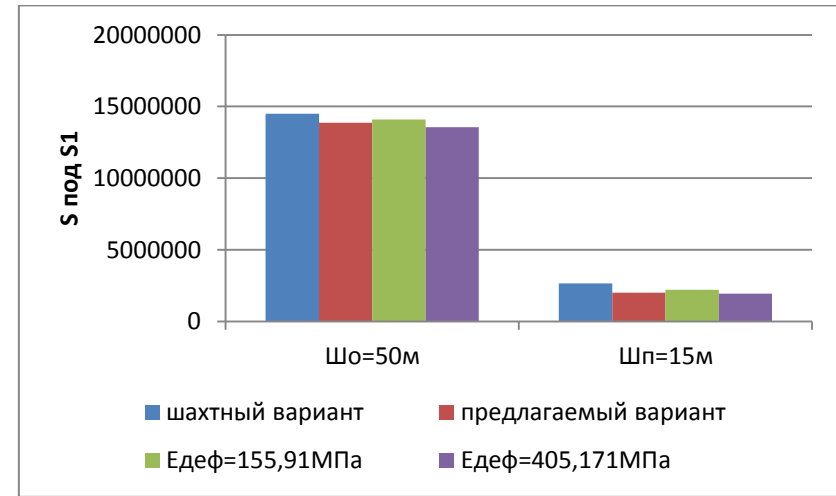


Рисунок 5.64 - Площадь под кривой разрушения от растяжения  $S_{\text{под } S_1}$  в слое 7 со стороны выработанного пространства

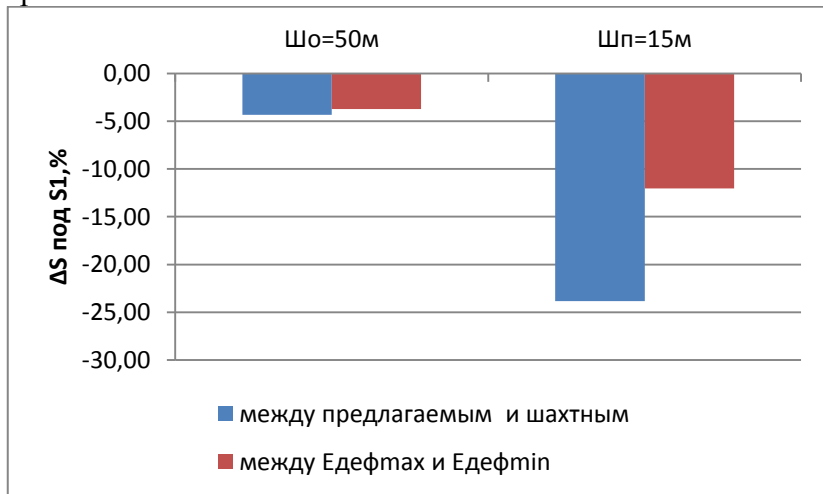


Рисунок 5.65 - Разность площадей под кривыми разрушения от растяжения  $S_{\text{под } S_1}$  в слое 7 со стороны выработанного пространства

Не от растяжения поскольку:

- давление на контакте «1-ый слой кровли – 2-ой слой кровли» со стороны выработанного пространства увеличивается (рисунок 5.60) и сжимающие напряжения в 1-ом слое кровли со стороны выработанного пространства уменьшаются (рисунок 5.61). В результате площадь под кривой разрушения от растяжения для 1-го и 2-го слоя кровли со стороны выработанного пространства уменьшается (рисунки 5.62-5.65).

А от сжатия поскольку:

- сжимающие напряжения в костре переносятся: в горизонтальном направлении – от выработки к выработанному пространству (рисунки 5.52, 5.53), в вертикальном – от почвы к кровле (рисунки 5.54, 5.55); давление на контактах «костёр – непосредственная кровля», «костёр – непосредственная почва» переносится от выработки к выработанному пространству (рисунки 5.56-5.59).

Полученный положительный эффект от использования тумб с распором был следствием того, что тумбы всей своей поверхностью с первого подшага нагрузки включаются в работу по поддержанию выработки (таблицы Т.1, Т.3), в то время как БЖБТ тратит на это 47% от шага нагрузки (таблица Т.2) при  $Ш_0 = 50\text{м}$  и 71% от шага нагрузки (таблица Т.4) при  $Ш_{\Pi} = 15\text{м}$ .

Для того чтобы определить рациональные параметры тумб с распором были построены графики зависимости площади под кривой доли объясненной дисперсии от модуля деформации тумб (рисунки 5.66, 5.67). Анализ графиков показал, что увеличение модуля деформации с распором ведет к увеличению площади под кривой доли объясненной дисперсии, как при шаге первой посадки ( $Ш_0 = 50\text{м}$ ), так и при шаге последующих посадок кровли ( $Ш_{\Pi} = 15\text{м}$ ).

Поскольку затраты на реализацию предлагаемого способа в данных горно-геологических условиях не являются ограничивающим фактором (таблица 5.5), то рациональными параметрами будут те, что соответствуют максимальному модулю деформации тумб ( $E_{дефmax} = 405,171\text{e}^6\text{Па}$ ), а именно: диаметр опалубки  $D_{оп} = 0,5715\text{м}$ , высота опалубки  $H_{оп} = 0,55\text{м}$ , шаг установки опалубок  $L_{оп} = 0,8\text{м}$ ,

диаметр трубки  $d_{\text{тр}} = 0,14\text{м}$ , диаметр породы  $d_{\text{пор}} = 5 \div 10\text{мм}$ , количество рядов опалубок  $n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} = 3\text{шт.}$

Следует отметить что вариант реализованный в шахтных условиях (рисунок 4.14, приложение Е) близок к оптимальному и эффективность его использования подтверждена (приложение Ж, И).

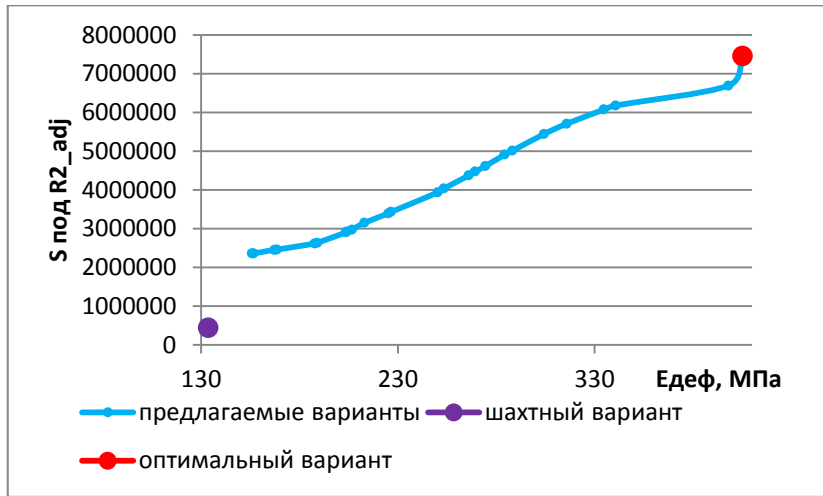


Рисунок 5.66 - График зависимости площади под кривой доли объяснённой дисперсии  $S_{\text{под } R^2_{adj}}$  от модуля деформации тубы с распором  $E_{\text{деф}}$ , Па для условий шахты «Рассвет-1» ( $Ш_0 = 50\text{м}$ )

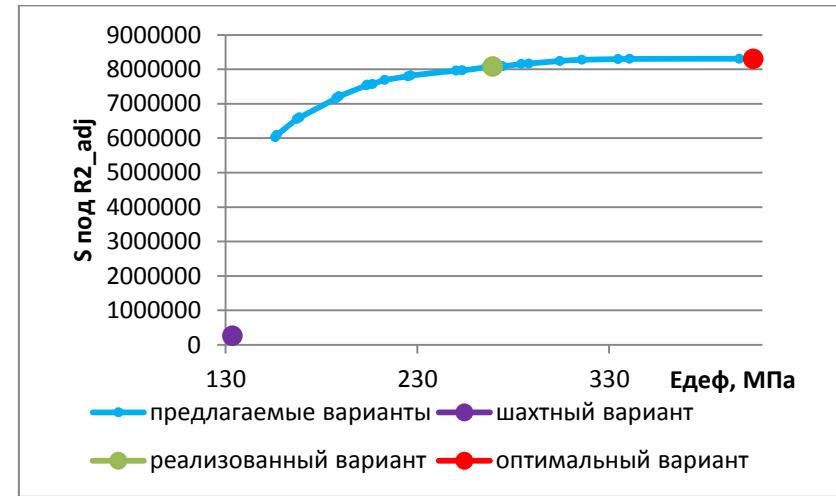


Рисунок 5.67 - График зависимости площади под кривой доли объяснённой дисперсии  $S_{\text{под } R^2_{adj}}$  от модуля деформации тубы с распором  $E_{\text{деф}}$ , Па для условий шахты «Рассвет-1» ( $Ш_п = 15\text{м}$ )

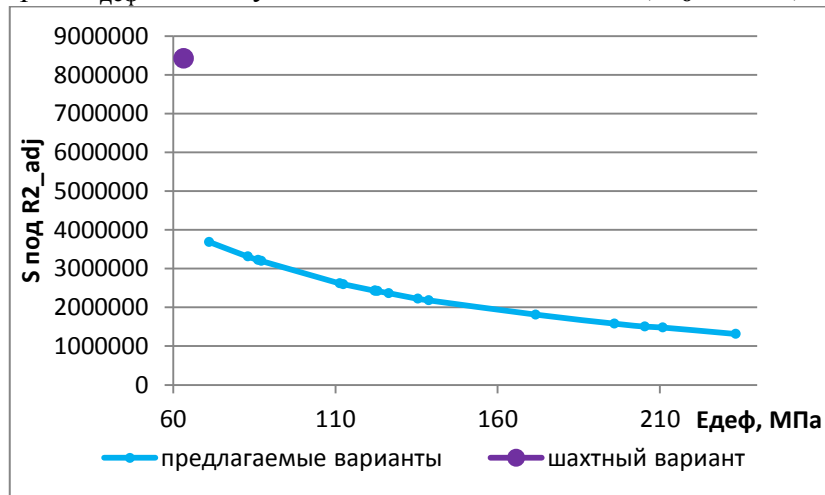


Рисунок 5.68 - График зависимости площади под кривой доли объяснённой дисперсии  $S_{\text{под } R^2_{adj}}$  от модуля деформации тубы с распором  $E_{\text{деф}}$ , Па для условий шахты «Щегловская-Глубокая» ( $Ш_0 = 50\text{м}$ )

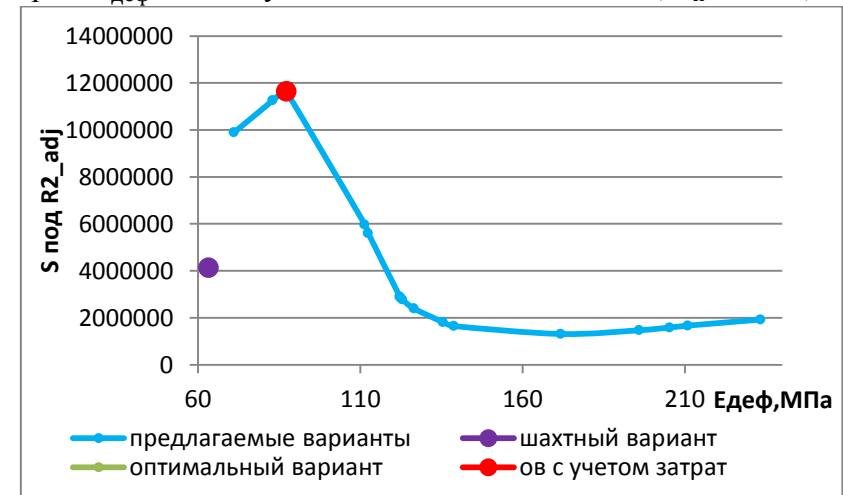


Рисунок 5.69 - График зависимости площади под кривой доли объяснённой дисперсии  $S_{\text{под } R^2_{adj}}$  от модуля деформации тубы с распором  $E_{\text{деф}}$ , Па для условий шахты «Щегловская-Глубокая» ( $Ш_п = 15\text{м}$ )

### 5.3. Численное моделирование механизма разрушения массива вокруг подготовительной выработки, прилегающей к лаве, в условиях шахты «Щегловская-Глубокая»

#### 5.3.1 Построение модели, приложение нагрузок и получение решения

После того как была подтверждена эффективность использования тумб с распором в качестве основного охранного сооружения была исследована эффективность использования тумб с распором в качестве вспомогательного охранного сооружения. С этой целью был смоделирован такой же участок массива с использованием горно-геологических условий шахты «Щегловская-Глубокая» (рисунок 5.70). Внутри этого участка были воспроизведены паспорт поддержания 5-го западного конвейерного штрека пл.  $m_3$ .

Паспорт участка был разбит на блоки (рисунок 5.71). Для каждого блока была определена несущая способность, модуль деформации (приложение У) и объемный вес (приложение Ф) способами, описанными выше. Результаты расчётов сведены в таблицу 5.6.

Порядок построения моделей (рисунок 5.72, приложение Х) был таким же, как и в п.п. 5.1.1.

Для того чтобы определить рациональные параметры предлагаемого варианта для данных горно-геологических условий при шаге первой и последующих посадок кровли, кроме модели с параметрами как в п.п. 5.1.1, были отработаны ещё 48 моделей (как в п.п. 5.2.1). Эти модели различались модулем деформации предлагаемого охранного сооружения. Модули деформации (таблица 5.7) были получены после отработки 24 моделей охранных сооружений, построенных по принципу блока 1 (приложение У). Диаметр опалубки был постоянным и равным диаметру стандартной бочки из-под масла  $D_{оп} = 0,5715$  м.

Были рассчитаны суммарные затраты на материалы и на оплату труда для предлагаемого и для шахтного варианта (приложение Ц). По этому же принципу были рассчитаны затраты для тумб с распором при варьировании их параметров

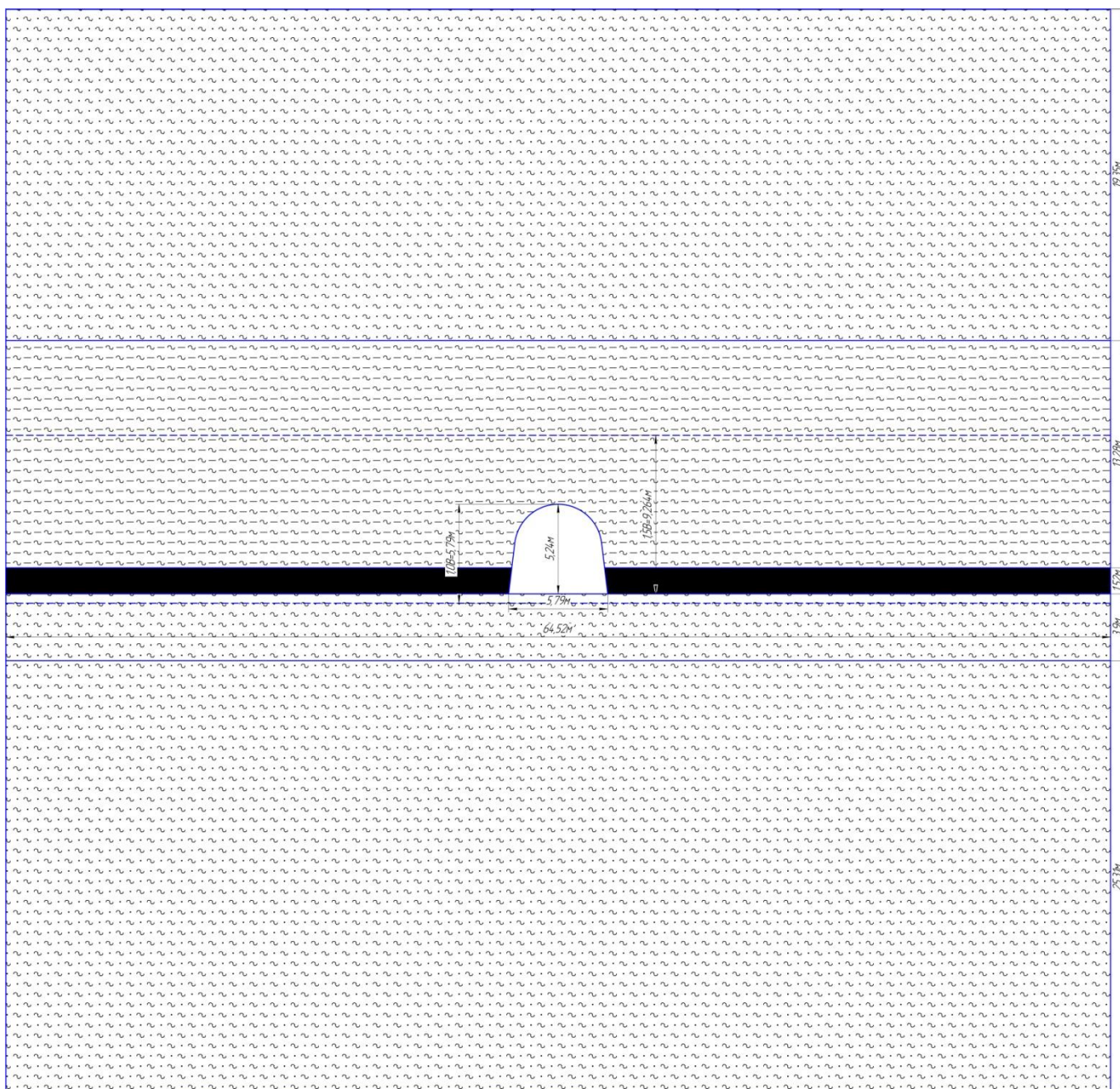


Рисунок 5.70 - Схема модели для условий шахты «Щегловская-Глубокая»

(таблица 5.7). Как видно из таблицы 5.7 только один вариант реализации тумб с распором ( $C_{уд} = 72,31 \frac{\text{грн}}{\text{м}}$ ) дешевле реализации шахтного варианта охранного сооружения ( $C_{уд} = 79,39 \frac{\text{грн}}{\text{м}}$ ) (приложение Ц) (в ценах 2013 года).

Таким образом, затраты на реализацию предлагаемого способа в данных горно-геологических условиях будут являться ограничивающим фактором при поиске его рациональных параметров.



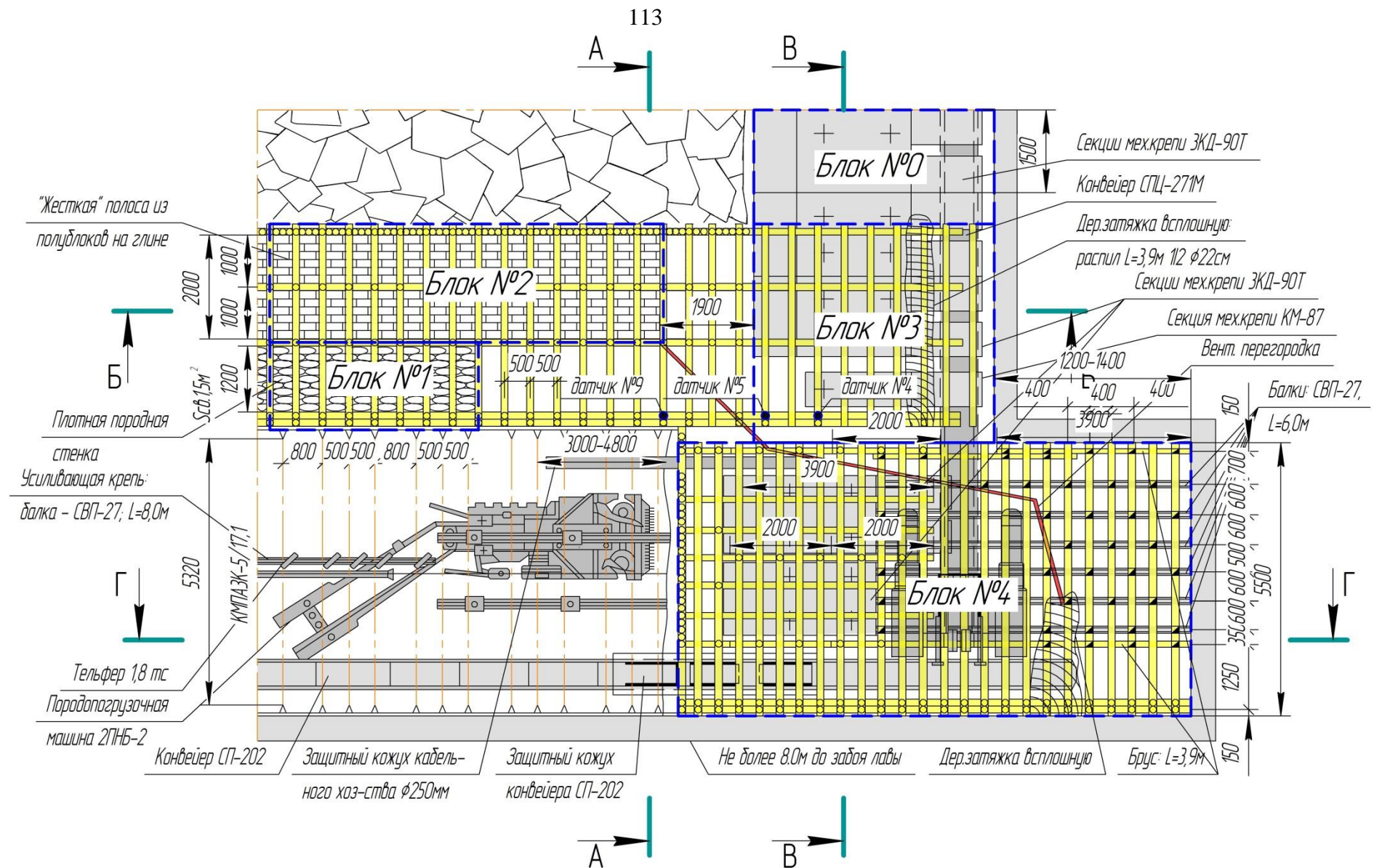
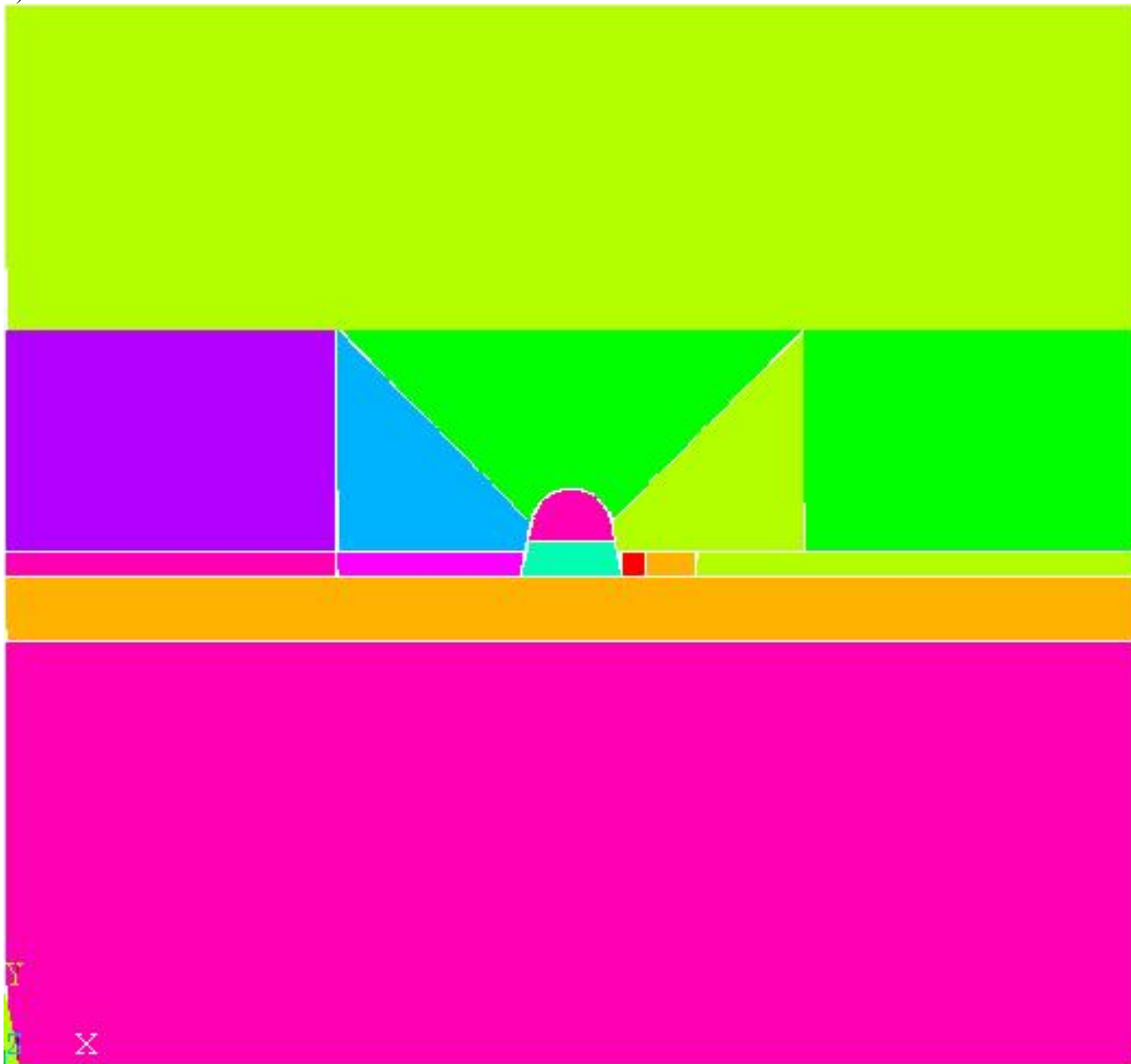


Рисунок 5.71 - ПАО Ш/У «Донбасс» шахта «Щегловская-Глубокая». Паспорт выемочного участка 5 западной лавы пл.  $m_3$  гор. 915м. Нижняя часть лавы. План. Разбиение паспорта на блоки (шахтный вариант)

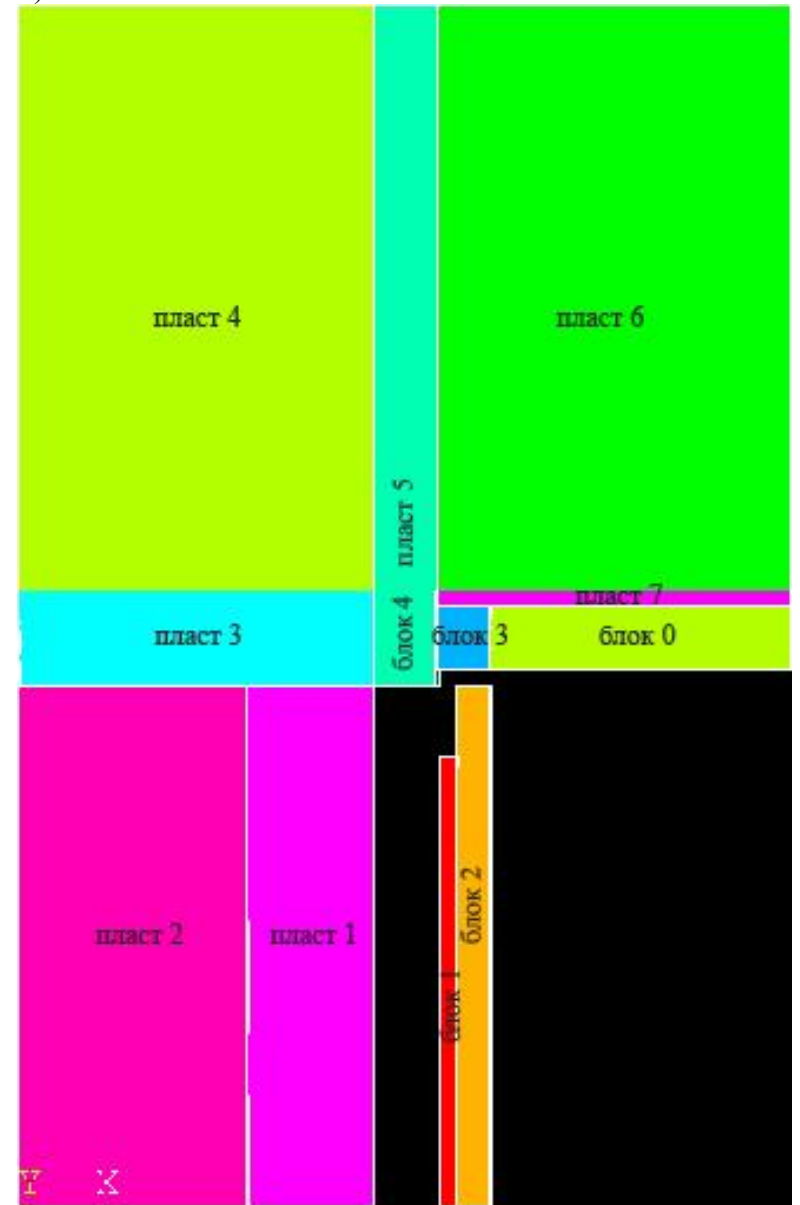
Свойства горных пород и охранных сооружений для условий шахты «Щегловская-Глубокая»

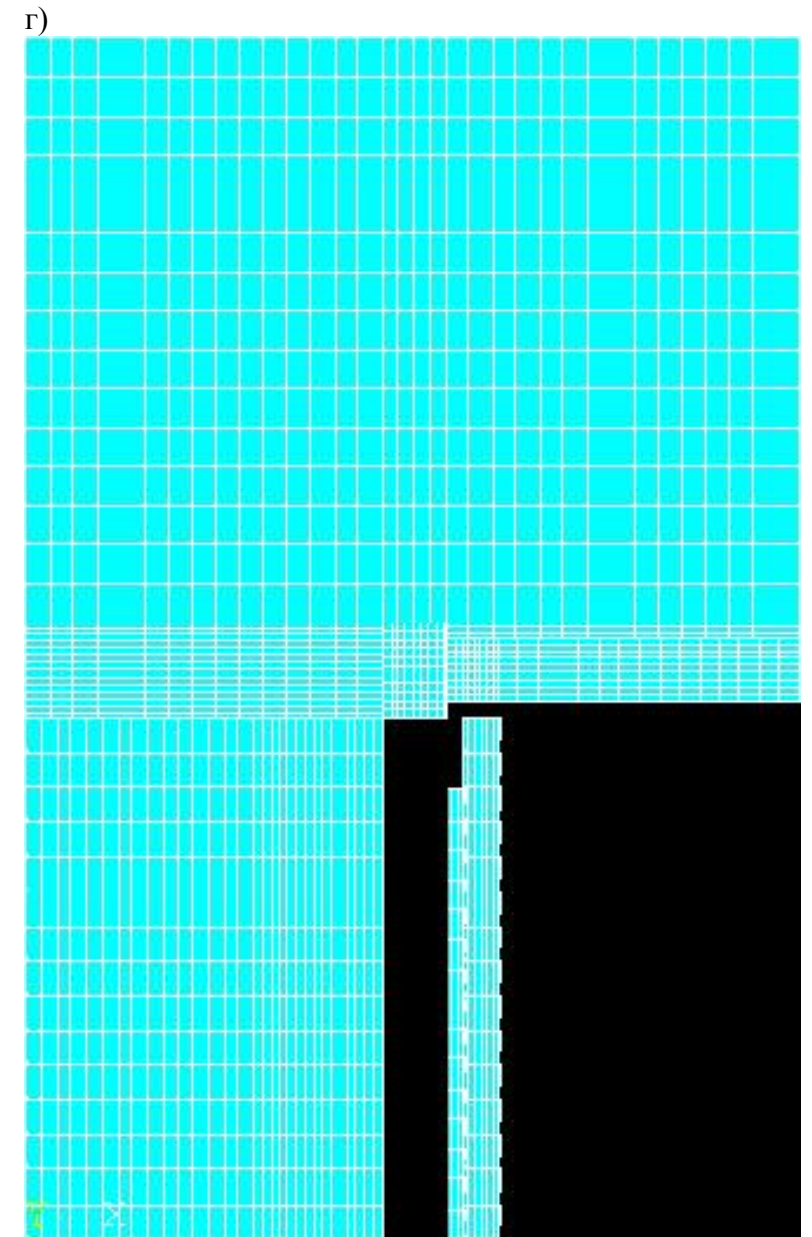
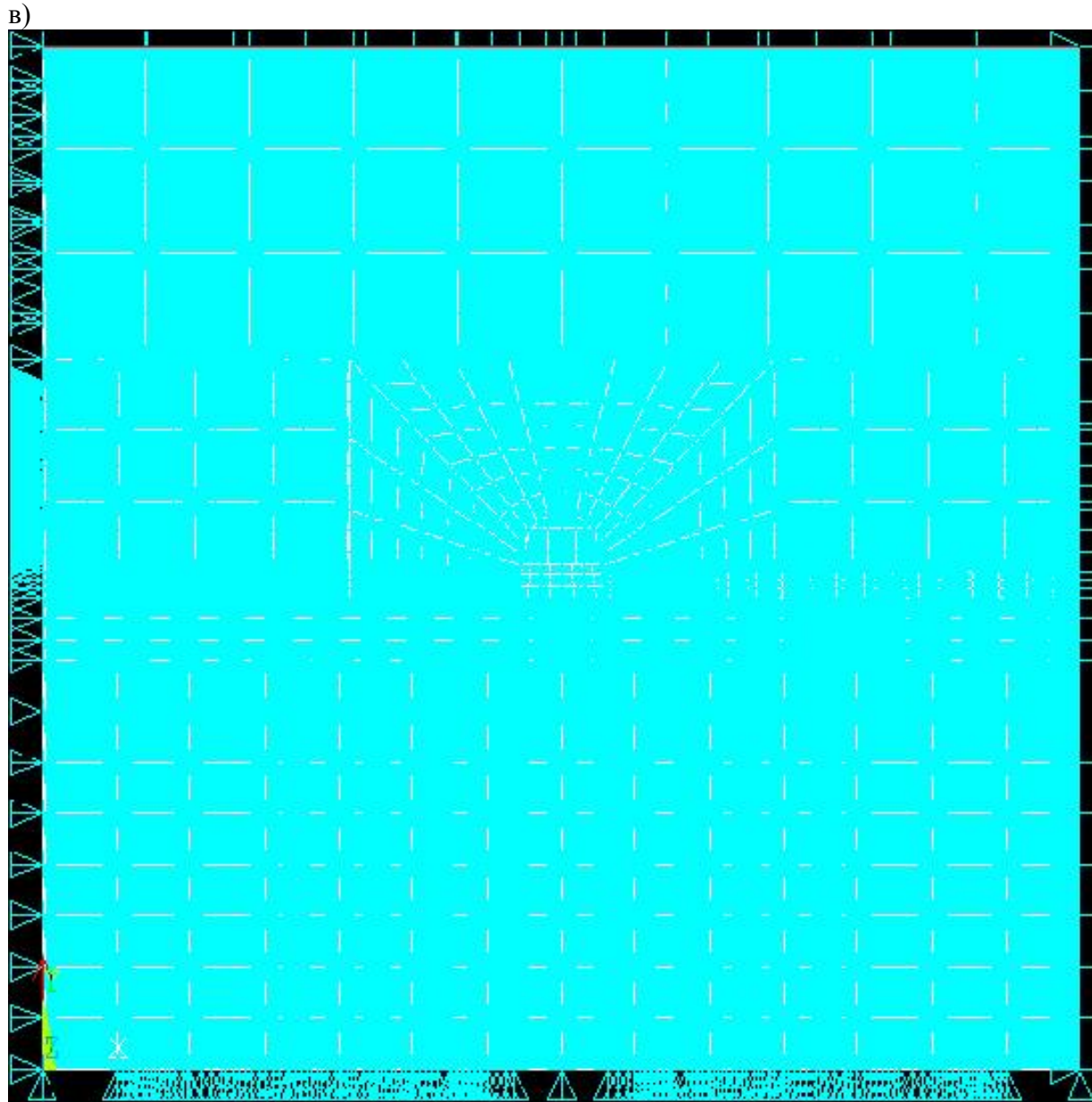
место	слой	порода	$m$ , м	$\sigma_{сж}$ , МПа	$\sigma_p$ , МПа	$E$ , МПа	$\mu$	$C$ , МПа	$\varphi$ , °	$\delta$ , °	$\gamma, \frac{кг}{м^3}$
почва	1	Песчаный сланец	25,31	68	15	27,22e3	0,235	15,97	39,68	39,68	2,7321e3
	2	Песчаный сланец	3,9	65	14,8	26,90e3	0,240	15,51	38,98	38,98	2,7e3
пласт	3	Уголь	1,52	15	1,5	0,42e3	0,08	9,9	38	28	1,32e3
кровля	4	Глинистый сланец	13,28	60	10,41	27,85e3	0,140	12,50	45	45	2,7325e3
	5	Песчаный сланец	19,35	65	14,8	26,90e3	0,240	15,51	38,98	38,98	2,7e3
блок 0			-	0,8	-	7,024	0,3[212]	-	-	-	840,949
блок 1 (шахтный вариант)			-	2,223	-	63,246	0,3[212]	-	-	-	1996,900
блок 1 (предлагаемый вариант)			-	17,6	-	171,770	0,3[212]	-	-	-	649,154
блок 2			-	3,855	-	35,365	0,3[212]	-	-	-	856,465
блок 3			-	0,997	-	14,945	0,3[212]	-	-	-	721,111
блок 4			-	0,139	-	7,382	0,3[212]	-	-	-	396,951

a)



б)





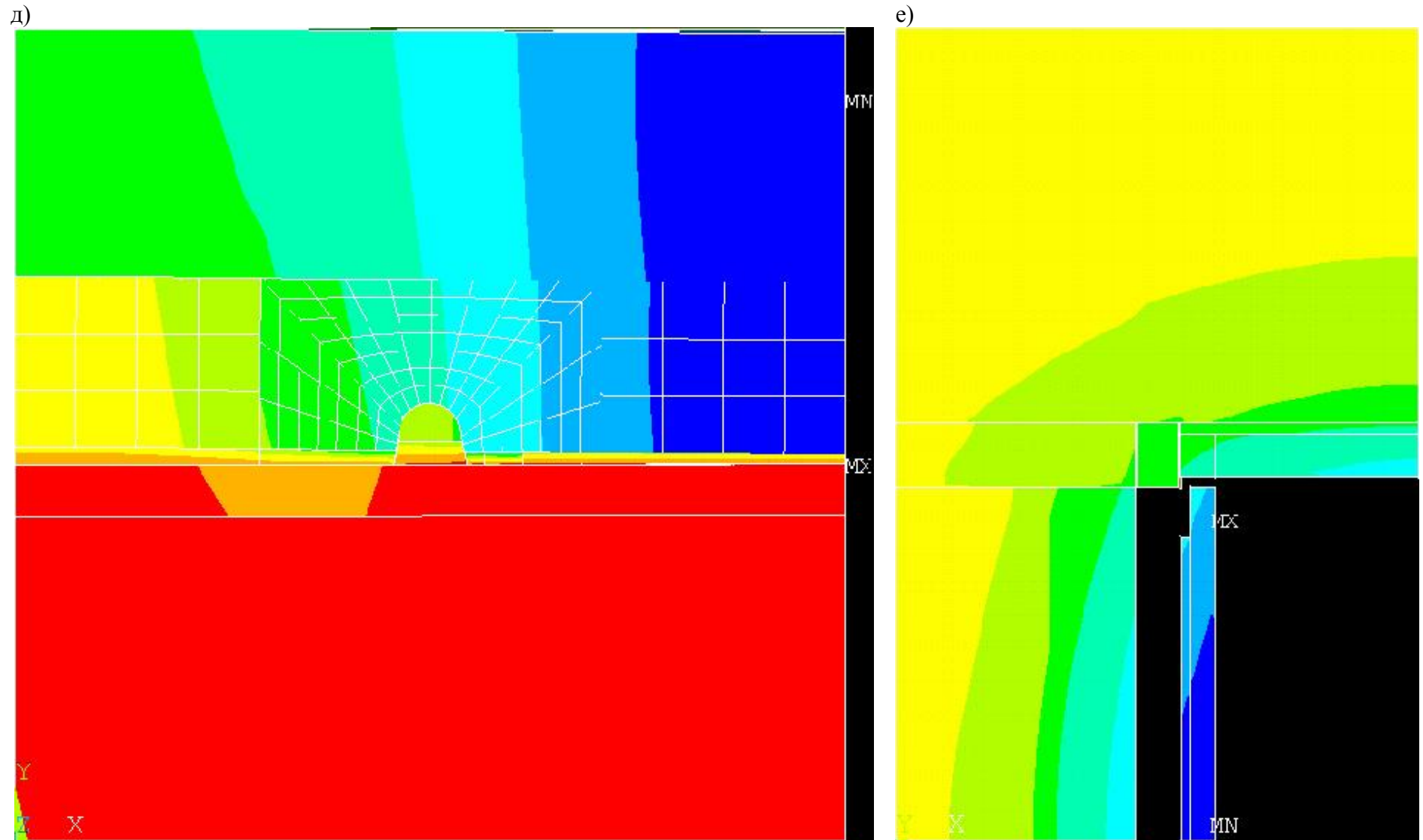


Рисунок 5.72 - Этапы типового расчёта в Ansys для условий шахты «Щегловская-Глубокая»:  
 а, б – создание геометрической модели, в, г- разбиение модели с помощью элементов и приложение нагрузок,  
 д, е – просмотр и анализ результатов (торец и плоскость пласта)

### 5.3.2 Результаты моделирования

Результаты исследований представлены на рисунках 5.68, 5.69. Для того чтобы определить рациональные параметры тумб с распором были построены графики зависимости площади под кривой доли объясненной дисперсии от модуля деформации тумб (рисунки 5.68, 5.69). Анализ графиков показал, что при шаге первой посадки ( $Ш_0 = 50\text{м}$ ) площадь под кривой доли объясненной дисперсии для шахтного варианта охранного сооружения больше, чем у предлагаемых вариантов вне зависимости от модуля их деформации (рисунок 5.68). Для выяснения причины этого сравнивали механизм разрушения массива вокруг выработки при использовании в качестве вспомогательного охранного сооружения бутовой полосы и тумб с распором с минимальным модулем деформации, а также влияние увеличения модуля на изменение механизма разрушения.

Результаты исследований представлены на рисунках Ш.1-Ш.10. Анализ результатов позволил сделать следующие выводы:

1. тумбы с распором включаются в работу раньше бутовой полосы, что приводит к их быстрому разрушению:

- давление на контактах «тумба с распором – непосредственная кровля», «тумба с распором – непосредственная почва» увеличивается. Чем выше модуль деформации тумб, тем давление на контактах выше (рисунки Ш.1, Ш.2). В результате сжимающие напряжения в тумбе увеличиваются. Чем выше модуль деформации тумб, тем сжимающие напряжения выше (рисунок Ш.3). Это ведет к тому, что разрушение тумбы наступает раньше (рисунок Ш.4) и после разрушения эффективность её работы по поддержанию выработки уменьшается (рисунок Ш.5).

2. но, несмотря на это, использование тумб с максимальным модулем деформации  $E_{\text{деф}} = 233,384\text{МПа}$  позволяет до момента их разрушения

- уменьшить консоль: сжимающие напряжения в непосредственной кровле переносятся: в горизонтальном направлении – от выработанного пространства к выработке (рисунок Ш.6), в вертикальном – от кровли к почве (рисунок Ш.7);

- сформировать магистральную трещину не от растяжения, а от сжатия.

Не от растяжения: поскольку процент расслоившихся элементов на контакте «основная кровля – непосредственная кровля» уменьшается (рисунок Ш.9). В результате площадь под кривой разрушения от растяжения для непосредственной кровли со стороны выработанного пространства уменьшается (рисунок Ш.10).

А от сжатия: поскольку сжимающие напряжения в непосредственной кровле увеличиваются (рисунок Ш.8).

Так как затраты на реализацию предлагаемого способа в данных горно-геологических условиях являются ограничивающим фактором (таблица 5.7), то использование тумб с максимальным модулем деформации является экономически нецелесообразным. Однако введение в экономическое сравнение затрат на ремонт выработки может изменить данное утверждение. Определение величины затрат на ремонт выработки при шахтном и предлагаемом вариантах охранного сооружения при шаге первой посадки ( $Ш_0 = 50\text{м}$ ) требует дополнительных шахтных наблюдений за смещениями пород в выработку.

При шаге последующих посадок кровли ( $Ш_n = 15\text{м}$ ) для тумб при модуле их деформации  $E_{\text{деф}} = 71,1 \div 86,26\text{МПа}$  площадь под кривой доли объясненной дисперсии больше, чем у шахтного варианта. Она возрастает, достигая своего максимума при  $E_{\text{деф}} = 86,26\text{МПа}$ . Дальнейшее увеличение модуля деформации тумб ведет к уменьшению площади под кривой, и она достигает своего минимума при  $E_{\text{деф}} = 171,77\text{МПа}$ , что соответствует параметрам охранного сооружения, реализованного на шахте «Рассвет-1» (рисунок 5.69).

Для выяснения причины такого изменения площади под кривой сравнивали механизм разрушения массива вокруг выработки при использовании бутовой полосы и тумб с распором с модулем деформации  $E_{\text{деф}} = 86,26\text{МПа}$ , а также влияние изменения модуля от  $E_{\text{деф}} = 86,26\text{МПа}$  до  $E_{\text{деф}} = 171,77\text{МПа}$  на изменение механизма разрушения.

Модуль деформации, удельный вес и удельные затраты  
на возведение тумб с распором для условий шахты «Щегловская-Глубокая»

$n_{\text{ряд}}^{\text{оп}}$ , ШТ	$d_{\text{пор}}$ , мм	$d_{\text{тр}}$ , мм	$L_{\text{оп}}$ , м	$P_{\text{max}}$ , МПа	$E_{\text{деф}}$ , МПа	$\gamma$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$C_{\text{уд}}$ , $\frac{\text{грн}}{\text{м}}$
1	5-10	0,16	0,875	17,6	171,770	649,154	170,84
1	5-10	0,1	0,6	14,45	135,484	578,239	111,06
2	5-10	0,1	0,6	16,98	233,384	1092,103	209,62
1	10-20	0,1	0,6	12,88	122,162	578,239	111,06
2	10-20	0,1	0,6	20,96	196,012	1092,103	209,62
1	5-10	0,12	1,2	10,89	87,216	315,615	72,31
2	5-10	0,12	1,2	16,27	138,851	566,854	138,36
1	10-20	0,12	1,2	10,05	83,029	315,615	72,31
2	10-20	0,12	1,2	14,81	126,471	566,854	138,36
1	5-10	0,14	0,8	13,07	122,374	431,143	138,20
2	5-10	0,14	0,8	20,73	205,400	797,911	267,02
1	10-20	0,14	0,8	12,01	112,451	431,143	138,20
2	10-20	0,14	0,8	10,61	210,966	797,911	267,02
1	5-10	0,16	1,6	8,94	86,264	241,937	86,26
2	5-10	0,16	1,6	14,69	122,969	419,500	167,83
1	10-20	0,16	1,6	8,78	71,100	241,937	86,26
2	10-20	0,16	1,6	13,85	111,363	419,500	167,83

Результаты исследований представлены на рисунках Ш.11-Ш.24 и в таблицах Т.5-Т.8. Анализ результатов позволил сделать следующие выводы:

1. также как и при шаге первой посадки  $Ш_0 = 50\text{м}$  давление на контактах «тумба с распором – непосредственная кровля» увеличивается. Чем выше модуль деформации тумб, тем давление на контакте выше (рисунок Ш.11). В результате сжимающие напряжения в тумбе увеличиваются. Чем выше модуль деформации тумб, тем сжимающие напряжения выше (рисунок Ш.12). Однако, в отличие от  $Ш_0 = 50\text{м}$  давление на контакте «тумба с распором – непосредственная почва» при применении тумбы с  $E_{\text{деф}} = 86,26\text{МПа}$  увеличивается до тех пор, пока не произойдет ее разрушение, а при увеличении модуля от  $E_{\text{деф}} = 86,26\text{МПа}$  до  $E_{\text{деф}} = 171,77\text{МПа}$  увеличивается вне зависимости от ее разрушения (рисунок Ш.13).



2. в отличие от шага первой посадки  $Ш_0 = 50\text{м}$  уменьшение консоли и формирование магистральной трещины от сжатия, а не от растяжения возможно уже при модуле деформации  $E_{\text{деф}} = 86,26\text{МПа}$ :

- сжимающие напряжения в непосредственной кровле при применении тумбы с  $E_{\text{деф}} = 86,26\text{МПа}$  меньше, чем при применении шахтного варианта охранного сооружения до тех пор, пока не произойдет ее разрушение. При увеличении модуля от  $E_{\text{деф}} = 86,26\text{МПа}$  до  $E_{\text{деф}} = 171,77\text{МПа}$  сжимающие напряжения в непосредственной кровле больше чем при применении шахтного варианта вне зависимости от разрушения тумб (рисунок Ш.14);

- сжимающие напряжения в непосредственной кровле переносятся: в горизонтальном направлении – от выработанного пространства к выработке (рисунок Ш.15), в вертикальном – от кровли к почве (рисунок Ш.16);

3. кроме того

- при применении тумбы с  $E_{\text{деф}} = 86,26\text{МПа}$  сжимающие напряжения переносятся в горизонтальном направлении: в тумбах - от передней границы модели к месту их установки (рисунок Ш.17), в непосредственной кровле – от места выкладки стенки из газобетонных блоков к передней границе модели (рисунок Ш.18). В результате, не смотря на то, что разрушение тумб наступает раньше (рисунок Ш.19), эффективность работы по поддержанию выработки тумб и стенки из газобетонных блоков увеличивается, а пласта со стороны массива – уменьшается (рисунки 5.72, Ш.20, Ш.21).

- при увеличении модуля от  $E_{\text{деф}} = 86,26\text{МПа}$  до  $E_{\text{деф}} = 171,77\text{МПа}$ , не смотря на то, что разрушение тумб наступает позже (рисунок Ш.22), эффективность работы по поддержанию выработки тумб и стенки из газобетонных блоков уменьшается, а пласта со стороны массива – увеличивается (рисунки 5.72, Ш.23, Ш.24).

Полученный положительный эффект от использования тумб с распором был следствием того, что тумбы всей своей поверхностью с первого подшага нагрузки включаются в работу по поддержанию выработки (таблица Т.5, Т.7), в то время как

бутовая полоса тратит на это 32% от шага нагрузки (таблица Т.6) при  $Ш_0 = 50\text{м}$  и 57% от шага нагрузки (таблица Т.8) при  $Ш_п = 15\text{м}$ .

Затраты на реализацию предлагаемого способа в данных горно-геологических условиях являются ограничивающим фактором (таблица 5.7). Поэтому рациональными параметрами будут те, которые дают максимальную площадь под кривой доли объяснённой дисперсии (рисунок 5.69) и затраты на реализацию которых меньше, чем при шахтном варианте (таблица 5.7). К ним относятся: диаметр опалубки  $D_{оп} = 0,5715\text{м}$ , высота опалубки  $H_{оп} = 1,41\text{м}$ , шаг установки опалубок  $L_{оп} = 1,2\text{м}$ , диаметр трубки  $d_{тр} = 0,12\text{м}$ , диаметр породы  $d_{пор} = 5 \div 10\text{мм}$ , количество рядов опалубок  $n_{ряд}^{оп} = 1\text{шт.}$

#### 5.4. Выводы

На основе проведённого численного моделирования можно сделать следующие выводы.

1. Теснота связи между вертикальными смещениями в своде выработки и контактными давлениями на естественной или искусственной опоре выраженная как доля объяснённой дисперсии отражает вклад опоры в поддержании выработки. По изменению доли объяснённой дисперсии на протяжении шага нагружения модели опоры делятся на главные и вспомогательные. К главным относятся те, на которые кровля опускается в первую очередь и вклад которых в поддержание выработки не уменьшается даже после того, как напряжения во всех её элементах не превысят предел прочности на сжатие. К вспомогательным опорам относятся те, вклад которых в поддержание выработки уменьшается по мере их разрушения. Тумбы с распором относятся к вспомогательным опорам.

2. Увеличение площади под кривой доли объяснённой дисперсии означает увеличение эффективности работы по поддержанию выработки. Таким образом, площадь под кривой доли объяснённой дисперсии – критерий при выборе рациональных параметров тумб с распором.

3. В условиях шахты «Рассвет-1» увеличение модуля деформации тумб с распором ведет к увеличению площади под кривой доли объяснённой дисперсии. В данных горно-геологических условиях затраты на реализацию предлагаемого способа не являются ограничивающим фактором и рациональными параметрами тумб являются те, которые дают максимальный модуль деформации ( $E_{\text{дефmax}} = 405,171 \text{e}^6 \text{Па}$ ): диаметр опалубки  $D_{\text{оп}} = 0,5715 \text{м}$ , высота опалубки  $H_{\text{оп}} = 0,55 \text{м}$ , шаг установки опалубок  $L_{\text{оп}} = 0,8 \text{м}$ , диаметр трубки  $d_{\text{тр}} = 0,14 \text{м}$ , диаметр породы  $d_{\text{пор}} = 5 \div 10 \text{мм}$ , количество рядов опалубок  $n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} = 3 \text{шт}$ .

4. В условиях шахты «Щегловская-Глубокая» максимальную площадь под кривой доли объяснённой дисперсии дают тумбы с модулем деформации  $E_{\text{деф}} = 86,26 \text{МПа}$ . В данных горно-геологических условиях затраты на реализацию предлагаемого способа являются ограничивающим фактором и рациональными параметрами тумб являются те, которые дают максимальную площадь под кривой доли объяснённой дисперсии и затраты на реализацию которых меньше, чем при шахтном варианте: диаметр опалубки  $D_{\text{оп}} = 0,5715 \text{м}$ , высота опалубки  $H_{\text{оп}} = 1,41 \text{м}$ , шаг установки опалубок  $L_{\text{оп}} = 1,2 \text{м}$ , диаметр трубки  $d_{\text{тр}} = 0,12 \text{м}$ , диаметр породы  $d_{\text{пор}} = 5 \div 10 \text{мм}$ , количество рядов опалубок  $n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} = 1 \text{шт}$ .

5. Использование тумб с распором позволяет увеличить эффективность работы искусственной опоры по поддержанию выработки и уменьшить затраты на ее возведение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная научно-практическая задача: установление особенностей и закономерностей деформирования массива, вмещающего выработку и охранное сооружение. Это позволило обосновать новый малозатратный способ охраны подготовительных выработок на основе активного распора разрушенных пород, заключённых в опалубку.

Основные научные и практические результаты работы и вытекающие из них выводы состоят в следующем:

1. Впервые установлены особенности образования магистральной трещины при обрушении пород кровли при этом положение магистральной трещины относительно выработки зависит от своевременного включения в работу охранного сооружения по поддержанию выработки. При включении в работу охранного сооружения за время более суток происходит рост трещины со стороны массива, что приводит к обрушению консоли основной кровли, вес пород при этом ложится на охранное сооружение и крепь охраняемой выработки, что вызывает ее деформирование.

2. Впервые установлена зависимость эффективности охранного сооружения на основе активного распора от жёсткости опалубки и места расположения распорного элемента. Наибольший эффект достигается при использовании жёсткой опалубки и расположении распорного элемента сверху охранного сооружения. В результате несущая способность охранного сооружения увеличивается в 1,96 раза, импульс сопротивления разрушению - в 1,62 раза, давление, с которого начинается течение охранного сооружения под нагрузкой в 31,2 раза.

3. Впервые для предлагаемого способа охраны разработана аддитивная модель зависимости несущей способности с квадратичным видом зависимости от высоты, диаметра опалубки, объёма невзрывчатой расширяющейся смеси (НРС) и прямым – от фракционного состава закладочной породы.

4. Параметры охранного сооружения по степени их влияния на модуль деформации расположились в следующем порядке: диаметр опалубки  $D_{оп, м} - 49,36\%$  от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , высота опалубки  $H_{оп, м} - 26,84\%$  от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , диаметр патрона (объём НРС)  $d_{пат, м} - 18,73\%$  от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , диаметр породы  $d_{пор, м} - 5,07\%$  от  $R_{adj}^2 = 0,993$ .

5. Теснота связи между вертикальными смещениями в своде выработки и контактными давлениями на естественной или искусственной опоре выраженная как доля объяснённой дисперсии отражает вклад опоры в поддержании выработки. Увеличение площади под кривой доли объяснённой дисперсии означает увеличение эффективности работы по поддержанию выработки. Таким образом, площадь под кривой доли объяснённой дисперсии – критерий при выборе рациональных параметров тумб с распором.

6. Разработаны и защищены патентами способы охраны подготовительной выработки, разработана методика определения их рациональных параметров, предложена технология их возведения.

7. Рациональными параметрами тумб с распором в условиях шахты «Рассвет-1» являются те, которые дают максимальный модуль деформации ( $E_{дефтmax} = 405,171e^6 \text{ Па}$ ): диаметр опалубки  $D_{оп} = 0,5715 \text{ м}$ , высота опалубки  $H_{оп} = 0,55 \text{ м}$ , шаг установки опалубок  $L_{оп} = 0,8 \text{ м}$ , диаметр патрона  $d_{пат} = 0,14 \text{ м}$ , диаметр породы  $d_{пор} = 5 \div 10 \text{ мм}$ , количество рядов опалубок  $n_{ряд}^{оп} = 3 \text{ шт}$ ; а в условиях шахты «Щегловская-Глубокая» - те параметры, которые дают максимальную эффективность работы охранного сооружения по поддержанию выработки и затраты на реализацию которых меньше, чем при шахтном варианте: диаметр опалубки  $D_{оп} = 0,5715 \text{ м}$ , высота опалубки  $H_{оп} = 1,41 \text{ м}$ , шаг установки опалубок  $L_{оп} = 1,2 \text{ м}$ , диаметр патрона  $d_{пат} = 0,12 \text{ м}$ , диаметр породы  $d_{пор} = 5 \div 10 \text{ мм}$ , количество рядов опалубок  $n_{ряд}^{оп} = 1 \text{ шт}$ .

8. Использование тумб с распором позволяет увеличить эффективность работы охранного сооружения по поддержанию выработки и уменьшить затраты на его возведение в условиях шахты «Рассвет-1» в 3,94 раза.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

БВР – буровзрывные работы;

БЖБТ – охранный сооружение из железобетонных блоков;

ВНИМИ – научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела;

ГГУ – горно-геологические условия;

ГОУВПО ДонНТУ – ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»;

ГСК – индивидуальная гидравлическая стойка;

ДСП – древесно-стружечная плита;

НГУ – НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ;

НДС – напряженно-деформированное состояние;

НРС – невзрывчатая расширяющаяся смесь;

НРВ – невзрывчатое расширяющееся вещество;

УНТС – установка неравнокомпонентного трехосного сжатия;

$Ш_0$  – шаг первой посадки основной кровли, м;

$Ш_n$  – шаг последующих посадок основной кровли, м;

$D_{оп}$  – диаметр опалубки охранного сооружения, м;

$L_{оп}$  – шаг установки опалубок, м;

$d_{пор}$  – диаметр породы, м;

$d_{тр}$  – диаметр трубки с НРС, м;

$E_{деф}$  – модуль деформации, МПа;

$E_{дефmax}$  – максимальный модуль деформации, МПа;

$H_{оп}$  – высота опалубки охранного сооружения, м;

$dH_{оп}$  – абсолютная деформация охранного сооружения, м;

$\frac{dH_{оп}}{H_{оп}}$  – относительная деформация охранного сооружения, %;

$\frac{dH_{оп}}{H_{оп} \cdot \Delta t}$  – предел текучести охранного сооружения, 1/сутки;

$P_{\text{пресса}}$  и  $P$  – прилагаемая нагрузка, МПа;

$\Delta t$  – время, в течение которого была приложена нагрузка, сутки;

$R_{adj}^2$  – доля объясненной дисперсии, доли ед.;

$A$  – уровень точности, %;

$\sigma_{\text{сж}}$  – прочность на сжатие, МПа;

$\sigma_{\text{р}}$  – прочность на растяжение, МПа;

$E$  – модуль упругости, МПа;

$\mu$  – коэффициент Пуассона;

$C$  – сцепление, МПа;

$\varphi$  – угол внутреннего трения, °;

$\delta$  – угол дилатансии, °;

$\gamma$  – объемный вес, кг/м<sup>3</sup>;

$l_{\text{между кострами}}$  – расстояние между кострами, м;

$l_{\text{между тумбами}}$  – расстояние между тумбами, м;

$l_{\text{между охр.сооружениями}}$  – расстояние между охранными сооружениями в направлении перпендикулярном шагу их установки, м;

$m$  – мощность пласта, м;

$P_{\text{max}}$  – несущая способность, МПа;

$\delta$  – предельная относительная вертикальная деформация охранного сооружения;

$UY$  – предельная абсолютная вертикальная деформация охранного сооружения, м;

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$M$  – масса, кг;

$V$  – объем, м<sup>3</sup>;

$H$  – глубина заложения выработки, м;

$gap_{\text{max}}$  – максимальный зазор, м;

$P_{\text{cont max}}$  – максимальное контактное давление, Па;

$\sigma_3$  – максимальные сжимающие напряжения, Па;

$\sigma_1$  – максимальные растягивающие напряжения, Па;

$\sigma_{\text{пр}}$  – приведенные напряжения при объемном напряженном состоянии, Па;

$[\sigma]$  – допустимые напряжения при объемном напряженном состоянии, Па;

$f$  – крепость пород;

$l_{\text{оп}}$  – длина зоны опорного давления, м;

$n_{\text{ряд}}^{\text{оп}}$  – количество рядов тумб с распором, шт;

$C_{\text{уд}}$  – суммарные удельные затраты на материалы и на оплату труда, грн/м.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протодьяконов, М.М. Давление горных пород и рудничное крепление. Ч. 1: Давление горных пород / М.М. Протодьяконов. - Изд. 3-е, испр. - М.-Л.: Госгориздат, 1933. - 126 с.
2. Цимбаревич, П.М. Механика горных пород / П.М. Цимбаревич. - М.: Углетехиздат, 1948. - 184 с.
3. Слесарев, В.Д. Управление горным давлением при разработке угольных пластов Донецкого бассейна / В.Д. Слесарев. - М.: Углетехиздат, 1952. - 380 с.
4. Покровский, Н.М. Проведение горизонтальных и наклонных горных выработок: учебник для техникумов / Н.М. Покровский. - Изд. 2-е. - М.: Углетехиздат, 1955. - 364 с.
5. Орлов, В.В. Сборник примеров и задач по механике горных пород и крепи / В.В. Орлов, А.Г. Гудзь. - М.: Госгортехиздат, 1961. - 213 с.
6. Квапил, Р. Новые взгляды на вопросы теории давления горных пород и горных ударов / Р. Квапил // Горное давление. - М.: Госгортехиздат, 1961. - С. 275-284.
7. Динник, А.Н. Распределение напряжений вокруг подземных горных выработок / А.Н. Динник, А.Б. Моргаевский, Г.Н. Савин // Тр. совещания по управлению горным давлением. - Л.-М.: Академиздат, 1938. - С.7-55.
8. Савин, Г.Н. Концентрация напряжений около отверстий / Г.Н. Савин. - М.-Л.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1951. - 496 с.
9. Баклашов, И.В. Механика подземных сооружений и конструкции крепей: учебник для вузов / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: «Недра», 1992. - 544 с.
10. Феннер, Р. Исследование горного давления / Р. Феннер // Вопросы теории горного давления. - М.: Госгортехиздат, 1961. - С. 5-59.
11. Лабасс, А. Давление горных пород в угольных шахтах / А. Лабасс // Вопросы теории горного давления. - М.: Госгортехиздат, 1961. - С. 159-164.

12. Руппенейт, К.В. Некоторые вопросы механики горных пород / К.В. Руппенейт. - М.: Углетехиздат, 1954. - 384 с.
13. Панов, А.Д. Горное давление в очистных и подготовительных выработках / А.Д. Панов, К.В. Руппенейт, Ю.М. Либерман. - М.: Госгортехиздат, 1959. - 99 с.
14. Шейнин, В.И. Некоторые статистические задачи расчета подземных сооружений / В.И. Шейнин, К.В. Руппенейт. - М.: «Недра», 1969. - 153 с.
15. Либерман, Ю.М. Давление на крепь капитальных выработок / Ю.М. Либерман; М-во угольной пром-сти СССР, Ин-т горного дела им. А.А. Скочинского. - М.: «Наука», 1969. - 119с.
16. Ершов, Л.В. Математические модели массива горных пород: учебное пособие для вузов / Л.В. Ершов, И.М. Иофис, И.Б. Нейман. - М.: Изд-во МГИ, 1983. - 85 с.
17. Повышение устойчивости подготовительных выработок угольных шахт / И.Ю. Заславский, В.Ф. Компанец, А.Г. Файвишенко, В.М. Клещенков. - М.: «Недра», 1991. - 233 с.
18. Дружко, Е.Б. Устойчивость основных горных выработок / Е.Б. Дружко, Ю.З. Заславский, Ф.И. Перепичка. - Донецк: Донбасс, 1975. - 144 с.
19. Ержанов, Ж.с. Устойчивость пластовых горных выработок: монография / Ж.с. Ержанов, Ш.М. Айталиев, М.К. Туебаев; Акад. наук Каз. ССР, Ин-т сейсмологии. - Алма-Ата: «Наука», 1977. - 113 с.
20. Максимов, А.П. Горное давление и крепь выработок: учебник для вузов / А.П. Максимов. - М.: «Недра», 1973. - 287 с.
21. Исследование больших деформаций ползучести и разрушения горных пород вокруг горизонтальных выработок: Автореф. дисс... д-ра техн. наук / Ю.А. Векслер; КПИ. - К, 1978. - 34 с. - русс.
22. Глушко, В.Т. Оценка напряженно-деформированного состояния массивов горных пород / В.Т. Глушко, С.П. Гавеля. - М.: «Недра», 1986. - 220 с.

23. Лыткин, В.А. Механизм пучения пород в подземных выработках / В.А. Лыткин; АН СССР, Госстрой СССР, Науч.-исслед. ин-т оснований и подземных сооружений. - М.: «Наука», 1965. - 131с.
24. Шейхет, М.Н. Давление пучащих пород на крепь подземных выработок / М.Н. Шейхет. - М.: Углетехиздат, 1955. - 127 с.
25. Борьба с пучением пород в горных выработках / С.Д. Сонин, М.Н. Шейхет, И.Л. Черняк, В.с. Лукичев. - М.: «Недра», 1966. - 199 с.
26. Черняк, И.Л. Управление состоянием массива горных пород / И.Л. Черняк, С.А. Ярунин. - М.: «Недра», 1995. - 395 с.
27. Ярунин, С.А. Управление состоянием массива пород: учебное пособие по дисциплине "Процессы подземных горных работ. Управление состоянием массива": для студентов специальности 09.02 / С.А. Ярунин, И.Л. Черняк. - М.: МГИ, 1988. - 94 с.
28. Шашенко, А.Н. Геомеханические процессы в породных массивах: монография / А.Н. Шашенко, Т. Майхерчик, Е.А. Сдвижкова. - Днепропетровск: НГУ, 2005. - 319 с.
29. Литвинский, Г.Г. Стальные рамные крепи горных выработок: монография / Г.Г. Литвинский, Г.И. Гайко, Н.И. Кулдыркаев. - К.: «Техніка», 1999. - 216 с.
30. Якоби, О. Практика управления горным давлением / О. Якоби. - М.: «Недра», 1987. - 565 с.
31. Геомеханика подземной разработки угольных пластов: учебное пособие для вузов: в 3 т. / М.П. Зборщик, М.А. Ильяшов ; ДонНТУ. - Донецк: ДонНТУ, 2006-2008. - Автограф. - ISBN 966-377-032-5. Т.1 / М.П. Зборщик, М.А. Ильяшов, А.П. Стариков. - 2006. - 198с.
32. Байсаров, Л.В. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых горных выработок: монография / Л.В. Байсаров, М.А. Ильяшов, А.И. Демченко. - Днепропетровск: «Лири ЛТД», 2005. - 240 с.
33. Выбор рациональных параметров охраны подготовительных выработок литыми полосами из твердеющих материалов: Автореф. дисс... канд. техн. наук:

05.15.02 / А.Г. Файвишенко; Институт горного дела им. А. А. Скочинского. - Москва, 1988. - 17 с. - русс.

34. Канин, В.А. Физико-технические основы охраны выемочных выработок в условиях неустойчивых пород. [Текст]: дис. д-ра техн. наук: 05.15.02: защищена ...: утв. ... / Канин Владимир Алексеевич. - Донецк, 2010. - 364 с.

35. Кожушок, О.Д. Обґрунтування параметрів комбінованої охоронної системи зростаючого опору для підтримання виїмкових штреків. [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.15.02: защищена ...: утв. ... / Кожушок Олег Денисович. - Донецьк, 2009. - 199 с.

36. Мокриенко, В.Н. Обоснование параметров способа охраны выработок жесткими сооружениями с компенсационными полостями. [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.15.02: защищена 04.07.2013: утв. ... / Мокриенко Владимир Николаевич. - Донецк, 2013. - 218 с.

37. Сахно, И.Г. Научные основы управления состоянием горных пород невзрывчатыми разрушающими смесями при подземной разработке месторождений. [Текст]: дис. д-ра техн. наук: 05.15.02: защищена 16.09.2015: утв. ... / Сахно Иван Георгиевич. - Красноармейск, 2015. - 457 с.

38. Стулишенко, А.Ю. Прогнозирование сближений пород контура проводимых вслед за лавой подготовительных выработок на пологих пластах. [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.15.02: защищена 17.05.2002: утв. ... / Стулишенко Алексей Юрьевич. - Донецк, 2002. - 170 с.

39. Баймухаметов, С.К. Расчет ползучести горных пород вокруг выработки, поддерживаемой за лавой / С.К. Баймухаметов, Е.П. Брагин, Ю.А. Векслер, И.Ф. Шалимов // Академия наук СССР. Ордена Ленина Сибирское отделение. Институт горного дела. Аналитические и численные исследования в механике горных пород. Сборник научных трудов. Ответственный редактор д.ф.-м. н. Никифоровский В.С. - Новосибирск, 1986. - С. 45-49.

40. Выборнова, С.Н. Влияние параметров способа охраны на состояние пород вокруг выемочных выработок / С.Н. Выборнова // Научные основы

управления состоянием горного массива: научные сообщения. - М., ИГД им. А.А. Скочинского, 1985. - Вып. 235. - с. 104-109.

41. Горовой, Е.П. Анализ напряженно-деформированного состояния пород вокруг подготовительной выработки, поддерживаемой за очистным забоем / Е.П. Горовой, С.Н. Александров, В.П. Сажнев // Проблемы горного давления: Сб. науч. тр. - Донецк: ДонНТУ, 2004. - №11. - С. 118-127.

42. Демин, В.Ф. Исследование напряженно-деформированного состояния горных пород в приконтурной зоне выемочных выработок / В.Ф. Демин, В.В. Яворский, С.К. Тутанов [и др.] // Известия вузов (горный журнал). - 2004. - №6. - С. 58-63.

43. Зюков, Ю.Е. Напряженно-деформированное состояние предохранительных целиков в лавах / Ю.Е. Зюков // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск, 2007. - Вып. 73. - С. 171-175.

44. Либерман, Ю.М. Исследование напряженного состояния пород вокруг выемочных выработок методом конечных элементов / Ю.М. Либерман, С.Н. Выборнова, А.С. Диманштейн // Совершенствование технологии добычи угля подземным способом: научные сообщения. - М., ИГД им. А.А. Скочинского, 1982. - Вып. 213. - С. 72-78.

45. Негрей, С.Г. Исследование напряженно-деформированного состояния бутовых опор / С.Г. Негрей // Вісті Донецького гірничого інституту. - Донецк: ДонНТУ, 2016. - №1. - С. 9-16.

46. Сахно, И.Г. Влияние жесткости охранного сооружения на напряженно-деформированное состояние породного массива вокруг выработок, поддерживаемых за лавой / И.Г. Сахно // Геотехнічна механіка: Межвед. сб. науч. тр. - Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2014. - Вып. 115. - С. 176-187.

47. Сахно, И.Г. Управление напряженно-деформированным состоянием массива горных пород вокруг выработок, поддерживаемых за лавой / И.Г. Сахно, Н.Н. Касьян // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск, 2013. - Вып. 112. - С. 152-162.

48. Слащев, И.Н. Прогноз устойчивости систем комбинированного поддержания подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях глубоких шахт / И.Н. Слащев // Збірник наукових праць НГУ. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «НГУ», 2010. - №35(1). - С. 67-77.

49. Яркович, А.И. Повышение устойчивости выработок путем закладки выработанного пространства / А.И. Яркович // Розробка родовищ: Зб. наук. пр. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «НГУ», 2015. - Том 9. - С. 141-147.

50. Шашенко, О.М. Деякі задачі статистичної геомеханіки / О.М. Шашенко, С.Б. Тулуб, О.О. Сдвижкова. - К.: «Пульсари», 2002. - 299 с.

51. Медяник, В.Ю. Формування склепіння рівноваги над підготовчою виробкою за допомогою смуг змінної жорсткості - як спосіб її охорони і безремонтної підтримки / В.Ю. Медяник // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск, 2009. - Вып. 81. - С. 173-183.

52. Волошин, А.И. Закономерности изменения эффективной мощности пласта от определяющих факторов / А.И. Волошин, О.В. Рябцев, Ю.Н. Игнатович // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск, 2003. - Вып. 47. - С. 114-121.

53. Клочко, И.И. Особенности конвергенции боковых пород в призабойном пространстве лав с различным строением кровли / И.И. Клочко, Н.И. Лобко // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. - Кременчук: КДПУ, 2011. - С. 95-99.

54. Назимко, И.В. Обоснование мероприятий по обеспечению устойчивости выработки при высокой скорости подвигания очистного забоя / И.В. Назимко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск, 2005. - Вып. 61. - С. 257-266.

55. Стаднюк, Е.Д. Изучение влияния скорости подвигания очистного забоя на шаг первичной посадки основной кровли / Е.Д. Стаднюк // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск, 2013. - Вып. 111. - С. 153-162.

56. Халимендик, Ю.М. Закономерности деформирования подготовительной выработки при различной скорости подвигания лавы в условиях

слабометаморфизованных пород / Ю.М. Халимендик, А.С. Барышников // Вісті Донецького гірничого інституту. - Донецк: ДонНТУ, 2016. - №1. - С. 67-72.

57. Исследование и установление параметров способа охраны выемочных выработок полосами из твердеющих материалов и разработка технологии их возведения: Автореф. дисс... канд. техн. наук: 05.15.02 / Н.Я. Полищук; ИГД им. А.А. Скочинского. - Москва, 1982. - 17 с. - русс.

58. Разработка технологии и параметров охраны выемочных выработок литыми изолирующими полосами: Автореф. дисс... канд. техн. наук: 05.15.02 / А.В. Родионов; Карагандинский политехнический институт. - Караганда, 1989. - 20 с. - русс.

59. Выбор способов охраны выемочных выработок с целью их повторного использования при разработке угольных пластов с прочными породами кровли: Автореф. дисс... канд. техн. наук: 05.15.02 / Ф.А. Чакветадзе; Институт горного дела им. А. А. Скочинского. - Москва, 1984. - 14 с. - русс.

60. Установление закономерностей деформирования массива горных пород и повышение устойчивости горных выработок для обеспечения эффективной разработки месторождений полезных ископаемых: Автореф. дисс... д-ра техн. наук: 05.15.02 / Ф.А. Чакветадзе; Гос. высш. учеб. завед. "Московский государственный открытый университет". - Москва, 1992. - 29 с. - русс.

61. Разработка эффективных технологий активного воздействия на окружающий массив для повышения устойчивости подземных горных выработок: Автореф. дисс... д-ра техн. наук: 05.15.02 / Ф.А. Чакветадзе; Гос. высш. учеб. завед. "Московский государственный горный университет". - Москва, 1994. - 26 с. - русс.

62. Аверкин, Д.И. Обоснование параметров способа охраны выемочных выработок бетонной пакетированной полосой. [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.15.02: защищена 27.04.2017: утв. ... / Аверкин Дмитрий Иванович. - Днепр, 2017. - 197 с.

63. Борзых, А.Ф. Разработка способов охраны подготовительных выработок при отработке пологих угольных пластов Восточного региона Украинского

Донбасса. [Текст]: дис. д-ра техн. наук: 05.15.02: защищена 13.11.1998: утв. ... / Борzych Анатолий Филиппович. - Алчевск, 1998. - 367 с.

64. Способы и средства охраны подготовительных горных выработок / Н.А. Алышев, Н.А. Шаповал, Ю.А. Пивень [и др.]; НАН Украины. - Донецк: ДонФТИ, 1997. - 77 с.

65. Канін, В.О. Охорона гірничих виробок газобетонним кріпленням / В.О. Канін, А.В. Анциферов. - Донецьк: ТОВ «АЛАН», 2004. - 396 с.

66. Фармер, Я. Выработки угольных шахт / Я. Фармер. - М.: «Недра», 1990. - 269 с.

67. Бесцеликовая отработка пластов / Ю.Л. Худин, М.И. Устинов, А.В. Брайцев [и др.]. - М.: «Недра», 1983. - 280 с.

68. Аверкин, Д.И. Влияние технологии сооружения околострековых бетонных полос на их прочностные характеристики // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Днепрпетровск, 2015. - Вып. 124. - С. 188-196.

69. Аверкин, Д.И. Оценка влияния способов поддержания сопряжения лавы со штреком на характер деформирования подготовительной выработки // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Днепрпетровск, 2015. - Вып. 120. - С. 256-265.

70. Агапов, Г.Л. Метод односторонней разгрузки напряжённого горного массива с целью охраны подготовительных выработок / Г.Л. Агапов, А.Г. Колупаев // Уголь. - 1991. - №6. - С. 24-28.

71. Андриенко, В.М. Геомеханические исследования проявлений горного давления в подготовительных выработках / В.М. Андриенко // Уголь Украины. - 2000. - №10. - С. 18-20.

72. Ануфриев, В.Е. Проявления горного давления в окрестности охраняемой для повторного использования выработки в зависимости от свойств опор и технологии их применения / В.Е. Ануфриев, А.В. Ремезов, С.К. Тризно, В.И. Дубровский // Уголь. - 1992. - №9. - С. 20-23.



73. Астров-Шумилов, Г.К. Количественная оценка устойчивости выработок / Г.К. Астров-Шумилов, В.М. Есенков // Уголь Украины. - 1995. - №1. - С. 18-20.
74. Гётце, В. Требования к вяжущим материалам, используемым для упрочнения пород, охраны и крепления горных выработок / В. Гётце, Н. Бушман, Д. Шроер // Глюкауф. - 1984. - №21. - С. 18-26.
75. Долоткин, Ю.Н. Охрана повторно используемых выработок полосами из облегченных блоков / Ю.Н. Долоткин, Ю.Ф. Зайцев // Уголь. - 1998. - №5. - С. 19-20.
76. Ефименко, А.А. Околоштрековая охранная полоса из автомобильных шин / А.А. Ефименко // Уголь Украины. - 1998. - №11. - С. 13-14.
77. Заславский, И.Ю. Исследование геомеханических процессов в подготовительных выработках / И.Ю. Заславский, А.Г. Файвишенко // Уголь. - 1987. - №6. - С. 17-20.
78. Игнатов, Е.В. Разработка геомеханических критериев оценки эффективности охраны подготовительных выработок / Е.В. Игнатов // Известия вузов (горный журнал). - 2007. - №5. - С. 8-12.
79. Ильин, А.И. Охрана подготовительных выработок / А.И. Ильин, Н.А. Николенко, В.М. Теросипов // Известия ДГИ. - 1998. - №2(8). - С. 40-41.
80. Ильяшов, М.А. Новые технологические решения в охране концевых участков высоконагруженных лав / М.А. Ильяшов, Л.В. Байсаров // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск, 2005. - Вып. 61. - С. 79-92.
81. Ирресбергер, Г. Геомеханическое проектирование на основе результатов измерений и прогнозных расчетов / Г. Ирресбергер // Глюкауф. - 1983. - №8. - С. ....
82. Калшер, В. Проектирование выемочных штреков с использованием новой технологии заполнения закрепного пространства и возведения околоштрековых полос / В. Калшер // Глюкауф. - 1981. - №17. - С. ....
83. Курносов, С.А. Исследование влияния способов сооружения бетонных околоштрековых полос на их прочностные и деформационные параметры / С.А. Курносов, В.Я. Осенний, В.В. Задерий, Д.И. Аверкин // Геотехническая механика:

Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск, 2015. - Вып. 122. - С. 95-106.

84. Литвинов, А. В. Влияние способа охраны штреков на деформации пород кровли / А. В. Литвинов, С. Н. Скрынников, С. А. Логашкин // Подз. разраб. т. и ср. мощности уг. пл. - Тула: ТПИ, 1985. - С. 98-100.

85. Насонов, А.А. Анализ способов и конструкций, применяемых для охраны выемочных выработок / А.А. Насонов // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. Часть 1. - Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2008. - С. 117-129.

86. Халимендик, В.Ю. Повышение эффективности использования рамных крепей угольных шахт Украины/ В.Ю. Халимендик // Розробка родовищ: Зб. наук. пр. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «НГУ», 2014. - Том 8. - С. 129-135.

87. Черняк, И.Л. Влияние развития горных работ на устойчивость подготовительных выработок / И.Л. Черняк, Н.В. Чехместренко // Уголь. - 1990. - №6. - С. 14-16.

88. Обґрунтування параметрів повторно застосованих штреків при бурошнековому вийманні вугільних пластів: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.02 / А.Г. Дунаєв; Держ. вищ. навч. закл. "Національний гірничий Університет". - Дніпропетровськ, 2002. - 16 с. - укр.

89. Хазипов, И.В. Разработка способов создания искусственных породных сооружений для охраны повторно используемых выемочных выработок. [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.15.02: защищена 22.01.09: утв. 15.07.09 / Хазипов Игорь Владимирович. - Донецк, 2009. - 157 с.

90. Булат, А.Ф. Порядок применения «технологического регламента поддержания повторно используемых выемочных штреков комбинированными охранными системами» / А.Ф. Булат, Б.М. Усаченко, В.Н. Сергиенко [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск, 2009. - Вып. 83. - С. 3-13.

91. Гётце, В. Правильная комбинация существующих средств крепления / В. Гётце // Глюкауф. - 1979. - №24. - С. 17-23.

92. Диманштейн, А.С. Характер обрушения пород кровли вокруг выемочной выработки при подвигании очистного забоя / А.С. Диманштейн, Ф.А. Чакветадзе // Вопросы управления состоянием горного массива: научные сообщения. - М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1984. - Вып. 224. - С. 35-42.
93. Курносов, С.А. Опыт применения сборной охранно-изолирующей полосы из быстротвердеющей бетонной смеси «Текхард» / С.А. Курносов, В.В. Задерий, А.А. Цикра [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск, 2013. - Вып. 112. - С. 267-280.
94. Либерман, Ю.М. Напряженное состояние пород почвы при разработке угольного пласта / Ю.М. Либерман, Р.И. Хаимова-Малькова // : научные сообщения. - М., ИГД им. А.А. Скочинского, 1968. - Вып. 60. - С. 126.
95. Круковский, А.П. Определение рациональных параметров породно-анкерных и охранных конструкций на сопряжении лавы с выемочным штреком / А.П. Круковский, С.А. Курносов, В.В. Круковская [и др.] // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. - Кременчук: КДПУ, 2016. - №4 -с. 54-60.
96. Негрей, С.Г. Испытания породных полос с ограниченной податливостью / С.Г. Негрей // Вісті Донецького гірничого інституту. - Донецк: ДонНТУ, 2016. - №2. - С. 54-60.
97. Негрей, С.Г. О возможности увеличения несущей способности бутовых полос / С.Г. Негрей // Вісті Донецького гірничого інституту. - Донецк: ДонНТУ, 2011. - №1. - С. 179-184.
98. Негрей, С.Г. Определение параметров комбинированного охранного сооружения из рядовой породы / С.Г. Негрей // Вісті Донецького гірничого інституту. - Донецк: ДонНТУ, 2015. - №1-2. - С. 23-32.
99. Негрей, С.Г. Усовершенствование технологии охраны подготовительных выработок породными стойками / С.Г. Негрей // Вісті Донецького гірничого інституту. - Донецк: ДонНТУ, 2014. - №1-2. - С. 181-186.
100. Овчинников, В.Ф. Влияние усиленной анкерной крепи и охранной бутовой полосы на устойчивость пластовой выработки / В.Ф. Овчинников, В.А. Дротик, А.М. Иваненко // Уголь Украины. - 2006. - №5. - С. 17-18.

101. Хуторной, В.Ф. Об определении несущей способности искусственных ограждений для охраны выемочных выработок / В.Ф. Хуторной, А.С. Диманштейн, В.Я. Мининберг, Н.Г. Галкина // Уголь Украины. - 1980. - №1. - С. 14-16.

102. Шмыков, И.П. К расчету ширины породных полос / И.П. Шмыков // Горное давление: научные сообщения. - М., ИГД им. А.А. Скочинского, 1971. - Вып. 86. - С. 14-19.

103. А.с. 1668702А1. СССР, МПК E21D11/18 Комбинированная искусственная опора / И.Д. Кондров, Д.А. Вовченко, Н.И. Мальшакова; И.Д. Кондров, Д.А. Вовченко, Н.И. Мальшакова . - № 4705541/03; заявл. 06.05.1989; опубл. 07.08.1991, Бюл. №29. - 3 с.

104. Пат. 2186216С1. РФ, МПК E21D11/00 Способ охраны подготовительной выработки / И.П. Бочаров, Е.В. Софронов, Ю.Н. Долоткин, Ю.М. Погудин; Открытое акционерное общество по добыче угля "Воркутауголь". - № 2001 113615/03; заявл. 18.05.2001; опубл. 27.07.2002, Бюл. №21. - 11 с.

105. Пат. 47042U. Украина, МПК E21D11/28, МПК E21D15/00 Вакуумне охоронне посадкове кріплення (вопк) / В.І. Сорока; В.І. Сорока. - № u 2009 08627; заявл. 17.08.2009; опубл. 11.01.2010, Бюл. №1. - 6 с.

106. Пат. 81366С2. Украина, МПК E21D11/32 Спосіб охорони виїмкових виробок / Л.В. Байсаров, М.О. Ільяшов, О.П. Сердюк, А.І. Демченко, В.О. Болбат, Ю.П. Чернишев, Є.І. Кольчик, О.О. Яйцов, М.Д. Хрипун; Закрите Акціонерне Товариство "Донецьксталь" - Металургійний Завод", дочірнє підприємство "Донецький Промбудндіпроект" державного акціонерного товариства "Будівельна Комп Анія "Укрбуд". - № u 2006 06187; заявл. 05.06.2006; опубл. 25.12.2007, Бюл. №... - 2 с.

107. А.с. 953229. СССР, МПК E21D11/10 Способ возведения искусственного целика / А.С. Аносов, С.И. Старосельский, В.П. Саликов, В.С. Овчаров, Н.А. Шаповал; Донецкий научно-исследовательский угольный институт. - № 2969487/22-03; заявл. 01.08.1980; опубл. 23.08.1982, Бюл. №31. - 3 с.

108. Черняк, И.Л. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт / И.Л. Черняк, Ю.И. Бурчаков. - М.: «Недра», 1984. - 304 с.

109. Бажин, Н.П. Влияние основных факторов на проявления горного давления в подготовительных выработках / Н.П. Бажин, Ф.П. Глушихин, М.Ф. Шклярский // Уголь Украины. - 1982. - №8. - С. 7-9.

110. Бажин, Н.П. Выбор характеристик искусственных ограждений и крепей выемочных выработок при изменении влияющих факторов / Н.П. Бажин, Т.А. Фомкина // Физические процессы горного производства. - Л.: ЛГИ, 1984.

111. Виноградов, В.В. Математическое моделирование поведения вмещающих пород в окрестностях выемочных штреков / В.В. Виноградов, А.В. Мухин // Уголь Украины. - 1996. - №5-6. - С. 12-14.

112. Демина, Т.В. Оценка характера физико-механических процессов в массиве вмещающих пород при проведении выработок / Т.В. Демина, В.Ф. Демин, А.В. Саранчуков // Известия вузов (горный журнал). - 2008. - №5. - С. 38-42.

113. Пат. 2339817С1. РФ, МПК E21D11/00 Способ охраны подготовительных выработок / Г.В. Овчаренко, Д.Г. Петраков; ГОУВПО "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова". - № 2007 117395/03; заявл. 10.05.2007; опубл. 27.11.2008, Бюл. №33. - 13 с.

114. Пат. 2407892С1. РФ, МПК E21D11/00 Способ охраны подготовительных выработок / Г.В. Овчаренко, Д.Г. Петраков; ГОУВПО "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова". - № 2009 127922/03; заявл. 20.07.2009; опубл. 27.12.2010, Бюл. №36. - 15 с.

115. А.с. 1082958А. СССР, МПК E21D11/14, МПК E21D15/00 Способ возведения искусственной опоры для поддержания кровли горной выработки / И.В. Еловиков, Л.А. Фалалеев, А.И. Лылин; Институт горного дела АН Казахской ССР. - № 3353296/22-03; заявл. 07.09.1981; опубл. 30.03.1984, Бюл. №12. - 4 с.

116. А.с. 1244327А1. СССР, МПК E21D11/00 Способ охраны повторно используемых выработок / А.В. Аулов, В.И. Фомичев, С.В. Фомичев; Ордена

Трудового Красного Знамени Гуковское производственное объединение по добыче угля. - № 3840490/22-03; заявл. 20.11.1984; опубл. 15.07.1986, Бюл. №26. - 2 с.

117. А.с. 1460343А1. СССР, МПК E21D11/00 Способ возведения полосы из твердеющих материалов для охраны выработок / М.М. Кукушев, В.Ф. Самусев, А.С. Николаев, М.Р. Ялымов, Ю.Г. Попов; Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт "КНИУИ". - № 4224641/22-03; заявл. 07.01.1987; опубл. 23.02.1989, Бюл. №7. - 2 с.

118. А.с. 1511408А1. СССР, МПК E21D11/00 Крепь для охраны подготовительных выработок / К.О. Атыгаев, Ж.К. Тлеубаев, С.Н. Лис, Н.П. Гриньков; Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт "КНИУИ". - № 4360014/23-03; заявл. 05.11.1988; опубл. 30.09.1989, Бюл. №36. - 3 с.

119. А.с. 1592503А1. СССР, МПК E21D11/08 Устройство для охраны подготовительных выработок / Н.М. Табаченко, Д.Л. Каралаш, Л.А. Солтан; Днепропетровский горный институт им. Артема. - № 4469180/23-03; заявл. 29.07.1988; опубл. 15.09.1990, Бюл. №34. - 4 с.

120. А.с. 1719645А1. СССР, МПК E21D11/19, МПК E21F15/00 Способ охраны подготовительных выработок / Г.Д. Лезин, М.М. Сыздыков, Е.К. Сакенов, А.И. Герцен; Институт горного дела АН Казахской ССР. - № 4823523/22-03; заявл. 07.05.1990; опубл. 15.03.1992, Бюл. №10. - 4 с.

121. А.с. 1770577А1. СССР, МПК E21D11/20 Способ возведения костра из гибких кольцевых элементов с внутренним кольцевым проемом / Ю.И. Шумко, Р.Ю. Шумко; Ю.И. Шумко, Р.Ю. Шумко. - № 4727592/22-03; заявл. 07.08.1989; опубл. 23.10.1992, Бюл. №47. - 3 с.

122. А.с. 1788275А1. СССР, МПК E21D11/22 Костер для поддержания кровли горных выработок / В.В. Быковский, И.И. Мартыненко; Шахтинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт. - № 4870209/03; заявл. 25.09.1990; опубл. 15.01.1993, Бюл. №2. - 3 с.

123. Пат. 18719U. Україна, МПК E21D11/26 Спосіб зведення приштрекової охоронної смуги / В.М. Антюхов, О.А. Чумак; Донбаський Державний Технічний Університет. - № u 2006 05879; заявл. 29.05.2006; опубл. 15.11.2006, Бюл. №11. - 2 с.

124. Пат. 2055990C1. РФ, МПК E21D11/02 Способ возведения околоштрековой охранной полосы / А.А. Ефименко, Ю.Н. Долоткин Г.Г. Евграфов, Ю.Е. Павлов, А.В. Тулаев; Государственный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и проектный угольный институт с Экспериментальным заводом, Шахта "Центральная" с обогатительной фабрикой "Воркутинского объединения по добыче угля "Воркутауголь". - № 93035038/03; заявл. 10.03.1996; опубл. 10.03.1996, Бюл. №... . - 7 с.

125. Пат. 2341657C1. РФ, МПК E21C41/16 Способ охраны участковых подготовительных выработок / Г.В. Овчаренко, Д.Г. Петраков, М.А. Панишев; ГОУВПО "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова" . - № 2007 122532/03; заявл. 15.06.2007; опубл. 20.12.2008, Бюл. №35 . - 7 с.

126. Пат. 54012U. Україна, МПК E21D11/29 Спосіб охорони підготовчих виробок М.М. Касьян, Е.П. Фельдман, І.В. Хазіпов, С.Г. Негрій, В.М. Мокрієнко; Донецький Національний Технічний Університет. - № u 2010 04634; заявл. 19.04.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. №20. - 2 с.

127. А.с. 945455. СССР, МПК E21D11/09 Способ возведения костра в борту штрека при безцеликовой его охране / Л.А. Фалалеев, М.М. Сыздыков, И.И. Любимов, Ш.Ш. Губашев, Л.А. Апалькова; Институт горного дела АН Казахской ССР. - № 2998605/22-03; заявл. 21.10.1980; опубл. 23.07.1982, Бюл. №27. - 3 с.

128. А.с. 1010279А. СССР, МПК E21D11/12 Способ поддержания сопряжения выработанного пространства с подготовительной выработкой / И.Л. Черняк, Ю.И. Бурчаков, И.М. Иофис, Е.М. Серебреник; Московский ордена Трудового Красного Знамени горный институт. - № 3302726/22-03; заявл. 18.06.1981; опубл. 07.04.1983, Бюл. №13. - 3 с.

129. А.с. 1333773А2. СССР, МПК E21D15/48 Способ возведения костра в борту штрека при бесцеликовой его охране / И.В. Еловигов, Л.А. Фалалеев, А.П.

Волков, В.А. Еловикова; Институт горного дела АН Казахской ССР. - № 3629064/22-03; заявл. 10.06.1983; опубл. 30.08.1987, Бюл. №32. - 3 с.

130. Пат. 2315182С1. РФ, МПК E21D11/00 Способ охраны подготовительных выработок / Г.В. Овчаренко, Д.Г. Петраков; ГОУВПО "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова". - № 2006 123173/03; заявл. 29.06.2006; опубл. 20.01.2008, Бюл. №2. - 10 с.

131. Пат. 2472933С1. РФ, МПК E21D11/00 Тумба для поддержания повторно используемых подготовительных выработок / Г.В. Овчаренко; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный университет". - № 2011 131809/03; заявл. 28.07.2011; опубл. 20.01.2013, Бюл. №2. - 7 с.

132. Пат. 2472935С1.РФ, МПК E21D11/01 Способ охраны повторно используемых подготовительных выработок / Г.В. Овчаренко; ГОУВПО "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова". - № 2011 132232/03; заявл. 29.07.2011; опубл. 20.01.2013, Бюл. №2. - 8 с.

133. Пат. 40875U. Україна, МПК E21D11/27 Пристрій для охорони підготовчих виробок / Г.О. Аверін, О.Г.Доценко, А.О. Антюхов; Донбаський Державний Технічний Університет. - № и 2008 14091; заявл. 08.12.2008; опубл. 27.04.2009, Бюл. №8. - 3 с.

134. Пат. 59991А. Україна, МПК E21D11/30 Спосіб охорони підготовчих виробок при розробці пластових корисних копалин / А.Ф. Булат, В.Г. Перепелиця, О.М. Коломієць; Інститут Геотехнічної Механіки ім. М.С. Полякова НАН України. - № и 2003 010091; заявл. 03.01.2003; опубл. 15.09.2003, Бюл. №9. - 2 с.

135. Пат. 68484А. Україна, МПК E21F15/00 Спосіб підтримання сполучення очисного забою та підготовчої виробки при розробці пластових корисних копалин / А.Ф. Булат, В.Г. Перепелиця, О.М. Коломієць; Інститут Геотехнічної Механіки ім. М.С. Полякова НАН України. - № 2003010663; опубл. 16.08.2004, Бюл. №8. - 2 с.

136. Пат. 88752С2. Україна, МПК E21D11/33 Спосіб зведення колоштрекової охоронної смуги / Б.М. Деглін, М.О. Ільяшов, О.Д. Кожушок, А.А. Мелконян, В.В.



Радченко; Товариство з обмеженою відповідальністю "Група "Енерго". - № у 2009 003467; заявл. 19.01.2009; опубл. 10.11.2009, Бюл. №21. - 4 с.

137. Пат. 92305U. Україна, МПК E21D11/34 Спосіб охорони підготовчої виробки / А.Ф. Булат, А.В. Смірнов, С.А. Курносов, В.С. Возіянов, О.А. Цікра, В.В. Задерій, Д.І. Аверкін; Інститут Геотехнічної Механіки ім. М.С. Полякова НАН України. - № у 2014 02466; заявл. 12.03.2014; опубл. 11.08.2014, Бюл. №15. - 5 с.

138. Пат. 102444U. Україна, МПК E21D11/23 Спосіб зведення литої смуги / А.М. Селезньов, С.І. Скіпочка, А.О. Яланський, В.М. Трипольський, О.А. Слащова; Інститут Геотехнічної Механіки ім. М.С. Полякова НАН України. - № у 2015 05114; заявл. 25.05.2015; опубл. 26.10.2015, Бюл. №20. - 4 с.

139. Пат. 103765U. Україна, МПК E21D11/24 Спосіб зведення литої смуги / А.М. Селезньов, С.І. Скіпочка, А.О. Яланський, В.М. Сергієнко, О.А. Слащова; Інститут Геотехнічної Механіки ім. М.С. Полякова НАН України. - № у 2015 07050; заявл. 15.07.2015; опубл. 25.12.2015, Бюл. №24. - 4 с.

140. А.с. 1190045А.СРСР, МПК E21D11/15 Спосіб передачі горного тиску на кріп / І.І. Терехин; І.І. Терехин . - № 3690658/22-08; заявл. 19.01.1984; опубл. 07.11.1985, Бюл. №41. - 2 с.

141. А.с. 1259024А1. СРСР, МПК E21D11/10 Передвижна опалубка для зведення монолітних смуг / І.Ю. Заславський, В.Ф. Компанец, А.Г. Файвищенко, С.Л. Резник; Донецький науково-дослідницький вугільний інститут. - № 3836591/22-03; заявл. 04.01.1985; опубл. 23.09.1986, Бюл. №35. - 2 с.

142. А.с. 1401141А1. СРСР, МПК E21D11/14 Кріп горних виробок / Е.В. Ігнатов; Інститут вугля СО АН СРСР. - № 4038868/22-03; заявл. 18.03.1986; опубл. 07.06.1988, Бюл. №21. - 4 с.

143. А.с. 1629568А1. СРСР, МПК E21D11/16 Бутова смуга / Н.Т. Фатеев, Б.Ф. Карякин, Н.Г. Власов, Ю.П. Громов; Всесоюзний науково-дослідницький і проектний конструкторський інститут по осушенню родовищ корисних копалин, спеціальним горним роботам рудничної геології і маркшейдерському справу "ВІОГЕМ" . - № 4459762/22-03; заявл. 14.07.1988; опубл. 23.02.1991, Бюл. №7. - 3 с.

144. А.с. 1643724А1. СССР, МПК E21D11/17, МПК E21C41/18, Способ охраны подготовительных выработок / В.А. Забродский, Г.С. Нестеров, В.П. Гудзь; Институт горного дела им. А.А. Скочинского. - № 4439333/03; заявл. 15.06.1988; опубл. 23.04.1991, Бюл. №15. - 2 с.

145. А.с. 1749465А1. СССР, МПК E21D11/25 Крепь для охраны подготовительных выработок / А.Ф. Борзых, А.Г. Кот, А.В. Куюн, Н.А. Михеев, В.А. Тоцкий; Коммунарский горно-металлургический институт, Трест "Луганскградшахтостройиндустрия". - № 4804870/03; заявл. 23.03.1990; опубл. 23.07.1992, Бюл. №27. - 3 с.

146. Пат. 2105155С1. РФ, МПК E21F15/00 Устройство для охраны выемочных штреков / А.В. Литвинов; Шахтинский филиал Новочеркасского государственного технического университета. - № 95120706/03; заявл. 08.12.1995; опубл. 20.02.1998, Бюл. №... - 5 с.

147. Пат. 2162943С1. РФ, МПК E21D15/48 Искусственная охранная опора / А.В. Литвинов, В.А. Ткачев, О.А. Туркеничева; Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета (НПИ). - №2000101751/03; заявл. 01.27.2000; опубл. 10.02.2001, Бюл. №4 . - 5 с.

148. Пат. 25431. МПК E21D15/00 Костровая крепь / В.В. Мишин; опубл. 30.10.1998, Бюл. №... - 2 с.

149. А.с. 796445. СССР, МПК E21D11/07 Сборная опора / Г.Г. Андреев, В.П. Назаркин, В.В. Михайлов, В.Г. Орт, А.Т. Рейш; Г.Г. Андреев, В.П. Назаркин, В.В. Михайлов, В.Г. Орт, А.Т. Рейш. - № 2738245/22-03; заявл. 21.03.1979; опубл. 15.01.1981, Бюл. №2. - 4 с.

150. Негрей, С.Г. Установление норм выработки при возведении охранных конструкций на концевых участках лав / С.Г. Негрей, Т.А. Негрей, Е.И. Конопелько // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва: наук.-виробн. журн. - Кременчук, 2016. - Вып. 2(18). - С. 73-81.

151. Разработка методов поддержания выемочных штреков в условиях активного проявления горного давления при их повторном использовании: Автореф.

дисс... канд. техн. наук: 05.15.02 / П.В. Щипанов; Санкт-Петербургский государственный горный институт. - Санкт-Петербург, 1993. - 19 с. - русс.

152. Бондаренко, В.И. К вопросу оставления породы в выработанном пространстве угольных шахт / В.И. Бондаренко, В.В. Русских, А.И. Яркович, Д.С. Малашкевич // Розробка родовищ: Зб. наук. пр. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «НГУ», 2014. - Том 8. - С. 19-24.

153. А.с. 1177500А. СССР, МПК E21D19/04 Способ охраны выемочных выработок / Ю.В. Lupinin; Государственный ордена Трудового Красного Знамени проектный институт "Днепрогипрошахт". - № 3460189/22-03; заявл. 24.06.1982; опубл. 07.09.1985, Бюл. №33. - 2 с.

154. А.с. 1663193А1. СССР, МПК E21D15/48 Способ изготовления костровой крепи из гибких тороидальных элементов с внутренним кольцевым проемом / Ю.И. Шумко, Г.Ю. Шумко; . - № 4611880/03; заявл. 01.12.1988; опубл. 15.07.1991, Бюл. №26. - 2 с.

155. Пат. 2204722. РФ, МПК E21D11/04, МПК E21D15/48, МПК E21D11/02 Способ изготовления блоков опорной крепи / А.В. Литвинов, С.А. Михалев, Р.А. Бородин; Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт). - № 2001 1108011/03; заявл. 28.03.2001; опубл. 20.05.2003, Бюл. №... - 3 с.

156. А.с. 735787. СССР, МПК E21D11/06 Способ возведения костра в борту штрека при безцеликовой его охране / Е.И. Рогов, Л.А. Фалалеев, Н.М. Дудкин; Институт горного дела АН Казахской ССР. - № 2685839/22-03; заявл. 09.11.1978; опубл. 25.05.1980, Бюл. №19. - 2 с.

157. А.с. 1509539А1. СССР, МПК E21D15/48 Способ возведения костра из гибкого кольцевого элемента с внутренним кольцевым проемом / Ю.И. Шумко, Г.Ю. Шумко; . - № 4330561/23-03; заявл. 23.11.1987; опубл. 23.09.1989, Бюл. №35. - 3 с.

158. Пат. 1776315А3. СССР, МПК E21D11/21 Опалубка для возведения околоштрековой охранной полосы / А.Н. Александров, Н.И. Александров, Г.Я.

Шпилерман; Институт горного дела им. А.А. Скочинского. - № 4850651/22-03; заявл. 24.07.1990; опубли. 15.11.1992, Бюл. №42. - 3 с.

159. А.с. 643649. СССР, МПК E21D11/31 Опорная крепь / В.Н. Рева, Л.К. Нейман, О.И. Мельников, Н.П. Бажин, В.В. Райский; Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ). - № 2457445/22-03; заявл. 01.03.1977; опубли. 25.01.1979, Бюл. №3. - 2 с.

160. А.с. 840381. СССР, МПК E21D11/08 Способ возведения бутовых полос при отработке пологих пластов и устройство для его осуществления / С. Бектегенов, А.Е. Богатырев, Ю.А. Боровков, М.А. Перзадаев, С.С. Квон, В.Ф. Демин, Ю.Ф. Руденко, С.Д. Бородаев; Карагандинский ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт. - № 2817486/22-03; заявл. 07.09.1979; опубли. 23.06.1981, Бюл. №23. - 3 с.

161. А.с. 964168. СССР, МПК E21D11/11 Шахтная костровая крепь / А.И. Ерохин, Г.Д. Потапенко, С.И. Зазовский; А.И. Ерохин, Г.Д. Потапенко, С.И. Зазовский. - № 3254522/22-03; заявл. 02.03.1981; опубли. 07.10.1982, Бюл. №37. - 3 с.

162. А.с. 1064004А. СССР, МПК E21D11/13 Крепь для охраны подготовительных выработок / В.Д. Мороз, Е.И. Кольчик, И.С. Костюк; Донецкий ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт. - № 3519564/22-03; заявл. 30.07.1982; опубли. 30.12.1983, Бюл. №48. - 3 с.

163. А.с. 1668682А1. СССР, МПК E21D11/00 Способ охраны подготовительной выработки и устройство для его осуществления / В.Д. Мороз, А.Н. Беляев, И.С. Костюк, В.И. Фомичев; Донецкий ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт. - № 4609905/03; заявл. 29.11.1988; опубли. 07.08.1991, Бюл. №29. - 5 с.

164. Пат. 2079665С1. РФ, МПК E21D11/03 Костер для охраны выемочных выработок / Б.Б. Луганцев, И.И. Мартыненко, В.А. Савин; Донская угольная научно-исследовательская лаборатория. - № 93049620/03; заявл. 27.10.1993; опубли. 20.05.1997, Бюл. №14. - 6 с.

165. А.с. 461230. СССР, МПК E21D11/05 Устройство для охраны выемочных штреков / И.Я. Лещенко, И.А. Мартыненко, А.В. Литвинов; Шахтинский научно-

исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт. - № 1635407/22-03; заявл. 16.03.1971; опубл. 25.02.1975, Бюл. №7. - 2 с.

166. Медяник, В.Ю. Визначення параметрів закладного матеріалу для зведення охоронних смуг змінної жорсткості при комбінованій системі розробки пологих вугільних пластів на великих глибинах / В.Ю. Медяник, А.В. Яворський // Науковий вісник НГУ. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «НГУ», 2010. - №4. - С. 58-64.

167. А.с. 1562460А1. СССР, МПК E21D15/48 Костровая крепь / И.И. Белоусов; Ордена Трудового Красного Знамени Гуковское производственное объединение по добыче угля. - № 4253006/24-03; заявл. 28.05.1987; опубл. 07.05.1990, Бюл. №17. - 2 с.

168. Методы и средства решения задач горной геомеханики / Г.Н. Кузнецов, К.А. Ардашев, Н.А. Филатов и др. - М.: «Недра», 1987. - 248 с.

169. Моделирование в геомеханике / Ф.П. Глушихин, Г.Н. Кузнецов, М.Ф. Шклярский и др. - М.: «Недра», 1991. - 240 с.

170. Александров, А.Я. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела / А.Я. Александров, М.Х. Ахметзянов. - М.: «Наука», 1973. - 576 с.

171. Покровский, Г.И. Центробежное моделирование для решения инженерных задач / Г.И. Покровский, И.с. Федоров. - М., 1953.

172. Bucky P.V., Tabborelli R.V. Trans of the american Yust. Of mining and metal. Eng. Coal Division, 1933. - 130 p.

173. Розвиток наукових основ прогнозу обвалення порід покрівлі при вийманні лавою пологого пласта : Автореф. дис... д-ра техн. наук : 05.15.02 / Микола Іванович Лобков; В.о. Ін-т фізики гірнич. процесів НАН України. - Донецьк : Б/в, 2012.- 36 с. - укр.

174. Обгрунтування параметрів механічного опору породам підосви виймкових виробок при відпрацьовуванні лав зворотним ходом: Автореф. дис... канд. техн. наук / С.Г. Негрій; Держ. вищ. навч. закл. "Донець. нац. техн. ун-т". - Донецьк, 2007. - 22 с. - укр.

175. Геомеханічне обґрунтування параметрів обвалення важкокерованої покрівлі в лавах пологих пластів Донбасу: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.02 / О.І. Сергієнко; Ін-т фізики гірн. процесів НАН України. - Донецьк, 2009. - 19 с. - укр.

176. А.с. 394692. СССР, М.Кл. G01113108 Установка для испытания призматических образцов на трехосное сжатие / А.Д. Алексеев, Е.И. Осыка, А.Д. Тодосейчук; Донецкий физико-технический институт АН Украинской ССР. - № 1483008/25-28; заявл. 12.10.1970; опубл. 11.11.1973, Бюл. №34. - 3 с.

177. Зоря, Н.М. Исследование методом моделирования эквивалентными материалами процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при выемке одного пологопадающего пласта угля в условиях Донбасса. [Текст] : дис. канд. техн. наук : ....: защищена ....: утв. ... / Зоря ... .... - Сталино, 1958. - 227 с.

178. Пат. 52335. Україна, МПК E21F15/00 Спосіб охорони підготовчої виробки / М.М. Касьян, І.Г. Сахно, Н.М. Малишева; Донец. нац. техн. ун-т (Україна). - № u201001482; заявл. 25.08.2010; опубл. 12.02.2010, Бюл. №16. - 3 с.

179. Пат. 65441. Україна, МПК E21D11/00, МПК E21D15/00 Спосіб охорони підготовчих виробок / І.Г. Сахно, Н.М. Малишева; Донец. нац. техн. ун-т (Україна). - № u201104881; заявл. 19.04.2011; опубл. 12.12.2011, Бюл. №23. - 6 с.

180. Пат. 99054. Україна, МПК E21D11/00, МПК E21D15/00 Спосіб охорони підготовчих виробок / І.Г. Сахно, Н.М. Малишева; Донец. нац. техн. ун-т (Україна). - № a201104658; заявл. 15.04.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. №13. - 9 с.

181. Пат. 65527. Україна, МПК E21F15/00 Спосіб охорони підготовчої виробки / І.Г. Сахно, Н.М. Малишева; Донец. нац. техн. ун-т (Україна). - № u201105792; заявл. 10.05.2011; опубл. 12.12.2011, Бюл. №23. - 3 с.

182. Пат. 100191. Україна, МПК E21D11/00, E21F15/00 Спосіб охорони підготовчої виробки / І.Г. Сахно, Н.М. Малишева; Донец. нац. техн. ун-т (Україна). - № a201105795; заявл. 10.05.2011; опубл. 26.1.2012, Бюл. №22. - 5 с.

183. Фролов, Э.К. Исследование способов охраны штреков спаренных лав, поддерживаемых в выработанном пространстве на больших глубинах разработки.

[Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.311: защищена 02.06.1972: утв. ... / Фролов Э.К. - Донецк, 1971. - 159 с.

184. Макеев, А.Ю. Обоснование рациональных параметров технологии возведения породных опор при безлюдной скрепероструговой выемке. [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.15.02: защищена 30.03.89 : утв. ... / Макеев Александр Юрьевич. - Донецк, 1989. - 204с.

185. Кузык, И.Н. Обоснование параметров отработки камерной системой весьма тонких пологих пластов с закладкой выработанного пространства. [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.15.02: защищена 08.04.94 : утв. ... / Кузык Ирина Николаевна. - Донецк, 1993. - 108с.

186. Обґрунтування технологічних параметрів колоштрекових бутових смуг, що зводяться вібропневмотранспортними машинами: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.11 / О.В. Рябцев; НАН України, Ін-т геотехн. механіки ім. М.С. Полякова. - Дніпропетровськ, 2005. - 19с. - укр.

187. Весков, М.И. Метод расчета интенсивности течения сыпучих массивов, возводимых при проведении горных выработок / М.И. Весков, А.Я. Графова, С.Н. Выборнова, И.П. Шмыков // Расчётные методы в горном деле: научные сообщения. - М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1974. - Вып. 116. - С. 3-7.

188. Ильин, А.И. Шахтные специальные крепи из породных стоек / А.И. Ильин, В.М. Теросипов, С.А. Баранов // Уголь Украины. - 2003. - №3. - С. 14-15.

189. Канин, В.А. Разработка новых средств охраны пластовых выемочных выработок в условиях неустойчивых легко обрушающихся пород / В.А. Канин // Проблемы горного давления: Сб. науч. тр. - Донецк: ДонНТУ, 2004. - №12. - С. 174-199.

190. Симонов, В.И. Исследование деформации закладочного массива под действием нагрузки / В.И. Симонов // Уголь Украины. - 1973. - №3. - С. 14-15.

191. Протодьяконов, М.М. Методика рационального планирования экспериментов / М.М. Протодьяконов, Р.И. Тедер - М.: «Наука», 1970. - 76 с.

192. Георгий Александров Идеальный совершенный магический квадрат четного порядка: [Электронный ресурс]: Хостинг от uCoz. URL: [http://renuar911.narod.ru/ideal\\_sov.html](http://renuar911.narod.ru/ideal_sov.html) (дата обращения: 08.11.2017).

193. Жуковская, В.М. Факторный анализ в социально-экономических исследованиях / В.М. Жуковская, И.Б. Мучник. - М.: «Статистика», 1976. - 154 с.

194. Халафян, А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных: Учебник. 3-е изд. / А.А. Халафян. - М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. - 512с.

195. Ханк, Д.Э. Бизнес-прогнозирование. 7-е изд. / Д.Э. Ханк, Д.У. Уичерн, А.Дж. Райтс. - М.: «Вильямс», 2003. - 656 с.

196. Электронный учебник по статистике: [Электронный ресурс]: Анализ временных рядов. URL: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/sttimser.html> (дата обращения: 08.11.2017).

197. Решение задач по статистике: [Электронный ресурс]: Коэффициент корреляции. Средняя ошибка аппроксимации. URL: <http://univer-nn.ru/ekonometrika/koefficient-korrelyacii-srednyaya-oshibka-approksimacii-koefficient-elastichnosti/> (дата обращения: 08.11.2017).

198. Рефераты / Экономико-математическое моделирование: [Электронный ресурс]: Прогноз годовой прибыли: <http://www.refsru.com/referat-5439-4.html> (дата обращения: 08.11.2017).

199. Консорциум кодекс: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: [Электронный ресурс]: ГОСТ 33164.1-2014 Оборудование горно-шахтное. Крепи механизированные. Секции крепи. Общие технические условия, ГОСТ от 15 июня 2015 года №33164.1-2014. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200121723> (дата обращения: 18.11.2017).

200. CoalGuide: Путеводитель в мире угольной промышленности: [Электронный ресурс]: Механизированная крепь ЗКД90Т. URL: <http://coalguide.ru/energo-mehanicheskaya-slyjba/176-mekhanizirovannaya-krep-3kd90t/> (дата обращения: 18.11.2017).

201. Украинская техника для угольных шахт: Каталог. / В.В. Косарев, Н.И. Стадник, С.С. Гребенкин [и др.]. - Донецк: АСТРО, 2008. - 321 с.



202. Ярембаш, И.Ф. Практикум по курсу «Процессы подземных горных работ» для студентов специальности 7.090301.02 всех форм обучения / И.Ф. Ярембаш, В.Д. Мороз, С.Н. Шаповал, И.Г. Сахно; изд. 2-е доп. - Донецк: ДонНТУ, 2004, - 118 с.

203. Консорциум кодекс: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: [Электронный ресурс]: ГОСТ Р 50463-92 Стойки индивидуальные призабойные. Общие технические требования, ГОСТ Р от 30 декабря 1992 года №50463-92. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200026819> (дата обращения: 18.11.2017).

204. Хорин, В.Н. Машины и оборудование для угольных шахт: Справочник / В.Н. Хорин. - М.: «Недра», 1987. - 424 с.

205. Студопедия - Ваша Школопедия: [Электронный ресурс]: Лекция 11 / 11.1.1 Посадочные крепи. URL: [https://studopedia.ru/2\\_17733\\_upravlenie-krovley-polnim-obrusheniem.html](https://studopedia.ru/2_17733_upravlenie-krovley-polnim-obrusheniem.html) (дата обращения: 18.11.2017).

206. Инновации - бизнесу: [Электронный ресурс]: Крепь посадочная КПЗ (Спутник). URL: <http://www.ideasandmoney.ru/Ntrr/Details/121176> (дата обращения: 18.11.2017).

207. Каплун, А.Б. Ansys в руках инженера: Практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. - М.: Едиториал УРСС, 2003. - 272 с.

208. Охрана капитальных выработок от влияния очистных работ / Ю.М. Басинский, В.Ф. Водянов, В.М. Кулешов [и др.]. - К.: «Техника», 1983. - 140с.

209. Черняк, И.Л. Исследования физико-механических свойств горных пород глубоких шахт Донбасса / И.Л. Черняк, Р.И. Григорьев, Р.А. Фрумкин [и др.] // Технология добычи угля подземным способом. - 1967. - № 7. - С. 35-39.

210. СП 64.13330.2011 Деревянные конструкции: [Электронный ресурс]: Актуализированная редакция СНиП II-25-80, СП (Свод правил) от 28 декабря 2010 года №64.13330.2011. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200084537> (дата обращения: 02.11.2019).

211. СНиП II-В.4-71. Строительные нормы и правила: [Электронный ресурс]: Часть II, раздел В. Глава 4. URL:

<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:cJS9C-P21nMJ:https://meganorm.ru/Data2/1/4293810/4293810897.pdf+&cd=1&hl=ru&ct=clnk&gl=ua&client=firefox-b-d> (дата обращения: 02.11.2019).

212. Documentation for ANSYS

213. Изучаем сопротивление материалов: [Электронный ресурс]: Теория прочности Мора. URL: <http://sopromat.in.ua/handbook/teoriya-prochnosti-mora> (дата обращения: 08.11.2017).

214. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. - Л.: ВНИМИ, 1986. - 222 с.

215. Горнопромышленный портал России: [Электронный ресурс]: Стойки гидравлические СУГ-М, ГВП и ГВПУ. URL: <http://www.miningexpo.ru/catalog/97> (дата обращения: 02.11.2019).

216. Масло Роснефть, ТНК бочка: [Электронный ресурс]: Купить в Краснодаре. Оъявления на Sindom в Краснодаре. URL: <https://krasnodar.sindom.ru/> (дата обращения: 02.11.2019).

217. ГОСТ 13950-91. Межгосударственный стандарт: [Электронный ресурс]: Бочки стальные сварные и закатные с гофраами на корпусе. Технические условия. URL:

<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:jMJd1JdKA78J:https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294837/4294837449.pdf+&cd=1&hl=ru&ct=clnk&gl=ua&client=firefox-b-d> (дата обращения: 02.11.2019).

218. Студопедия – Ваша Школопедия: [Электронный ресурс]: Типы передвижных скребковых конвейеров. URL: [https://studopedia.ru/2\\_17719\\_tipi-peredvizhnih-skrebkovih-konveyerov.html](https://studopedia.ru/2_17719_tipi-peredvizhnih-skrebkovih-konveyerov.html) (дата обращения: 14.12.2017).

219. Барон, Л.И. Определение свойств горных пород [Текст]: учебник для вузов / Л.И. Барон, Б.М. Логунцов, Е.З. Позин. – Москва: Госгортехиздат, 1962. – 331 с.

220. Тетра: Харьковский завод металлических сеток: [Электронный ресурс]: Ст2пс - Сталь конструкционная углеродистая обыкновенного качества Марочник

стали и сплавов. URL: <http://www.tetra.kharkov.ua/marochnik/material-345.htm> (дата обращения: 14.12.2017).

221. Камелот Пласт: Реализация поливинилхлорида (ПВХ), полиэтилена, полипропилена: [Электронный ресурс]: Виды ПВХ (поливинилхлорида). Винипласт и пластикат. PVC-U, PVC-P. URL: <http://www.camelotplast.ru/info/vidi-pvh.php> (дата обращения: 14.12.2017).

222. Википедия: Свободная энциклопедия: [Электронный ресурс]: Поливинилхлорид. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Поливинилхлорид> (дата обращения: 14.12.2017).

223. Википедия: Свободная энциклопедия: [Электронный ресурс]: Древесно-стружечная плита. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Древесно-стружечная плита](https://ru.wikipedia.org/wiki/Древесно-стружечная_плита) (дата обращения: 14.12.2017).

224. Сахно, И.Г. Лабораторные исследования комплексных невзрывчатых разрушающих смесей с добавками портландцементов / И.Г. Сахно, Н.Н. Малышева, А.А. Кириллова // Вісті Донецького гірничого інституту. – Донецьк, 2012. – №1(30)-2(31). – С. 408-417.

225. ЧП "ВСВ ПЛЮС": Официальный сайт: [Электронный ресурс]: Опыт поколений - Невзрывчатое разрушающее вещество (НРВ). URL: <http://nrv80.com.ua/ru/experience-generations> (дата обращения: 14.12.2017).

226. Stroitel: Портал о цементе, бетоне и сухихи смесях: [Электронный ресурс]: Цемент и его плотность. URL: <http://stroitel-list.ru/cement/cement-i-ego-plotnost.html> (дата обращения: 14.12.2017).

227. Єдині норми виробітку на гірничопідготовчі роботи для вугільних шахт [Текст] / Мін-во палива та енергетики України, Донецький ЦОП. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 302 с.

228. ГОСТ 18662-83. Профили горячекатаные СВП для крепи горных выработок. Сортамент [Текст]. - Москва: Изд-во стандартов, 1983. – 1 с.

229. MiningWiki: Шахтерская энциклопедия: [Электронный ресурс]: Скребковый конвейер СПЦ 271М. URL:

[http://miningwiki.ru/wiki/Скребковый\\_конвейер\\_СПЦ](http://miningwiki.ru/wiki/Скребковый_конвейер_СПЦ) 271М (дата обращения: 14.12.2017).

230. ПАО "Строймаш": Официальный сайт: [Электронный ресурс]: Рештаки СП202,СП250,СП301. URL: [http://stroymash.at.ua/index/skrebkovye\\_konveera/0-7](http://stroymash.at.ua/index/skrebkovye_konveera/0-7) (дата обращения: 14.12.2017).

231. Прогресс-А: Комплексное обеспечение горно-шахтным оборудованием: [Электронный ресурс]: Конвейеры шахтные скребковые типа: СПЦ, АНЖЕРА. URL: <http://www.miningtechnics.com/shop/mining-equipment/transport/spts-anzhera/> (дата обращения: 14.12.2017).

232. CoalGuide: Путеводитель в мире угольной промышленности: [Электронный ресурс]: Конвейер СП 202 - вес узлов и деталей. URL: <http://coalguide.ru/energo-mehanicheskaya-slyjba/914-ves-uzlov-i-detalej-konvejera-skrebkovogo-sp-202/> (дата обращения: 14.12.2017).

233. Статьи о строительстве: [Электронный ресурс]: Блоки из газобетона, их характеристики и размеры. URL: [http://www.strou-dom.net/bloki\\_gazobeton.html](http://www.strou-dom.net/bloki_gazobeton.html) (дата обращения: 14.12.2017).

ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение А

Таблица А.1

Результат подбора эквивалентного материала для моделирования

№ слоя	Порода	Прочность пород на сжатие в натуре, МПа	Количество частей, на которые разделён слой, шт	Толщина части, см	Содержание компонентов в слое, гр		
					песок	парафин	канифоль
1.	Песчаный сланец	65	33	1	727	10	12,7
2.	Песчаник	85	9	1	729	7	14,4
3.	Песчаный сланец	55	4	1	728	11	10,6
4.	Песчаный сланец	50	1	1,2	875	14	11,2
5.	Уголь	15	1	1,46	1084	11	0,5
6.	Песчаник	66	4	1	727	10	12,9
7.	Песчаник	85	22	1	729	7	14,4
8.	Песчаный сланец	70	3	1,07	776	10	14,4
9.	Известняк	80	3	1,13	825	9	16,2

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б



Рисунок Б.1 - Форма для закатки контрольных образцов



Рисунок Б.2 - Контрольные образцы из эквивалентного материала по уточненной рецептуре



Рисунок Б.4 - Пробные образцы по уточненной рецептуре после испытания на одноосное сжатие

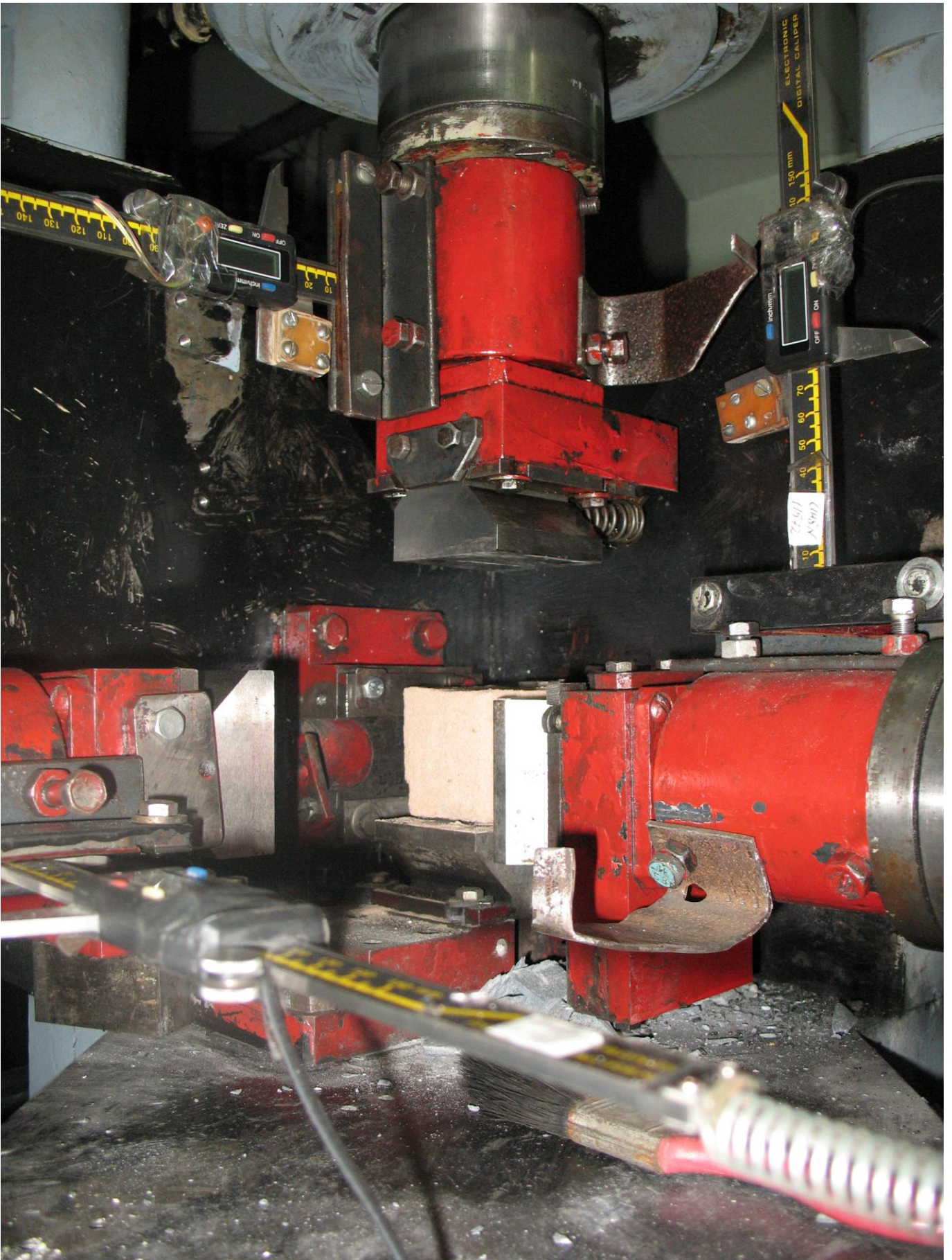


Рисунок Б.3 - Рабочая камера установки УНТС с установленным образцом



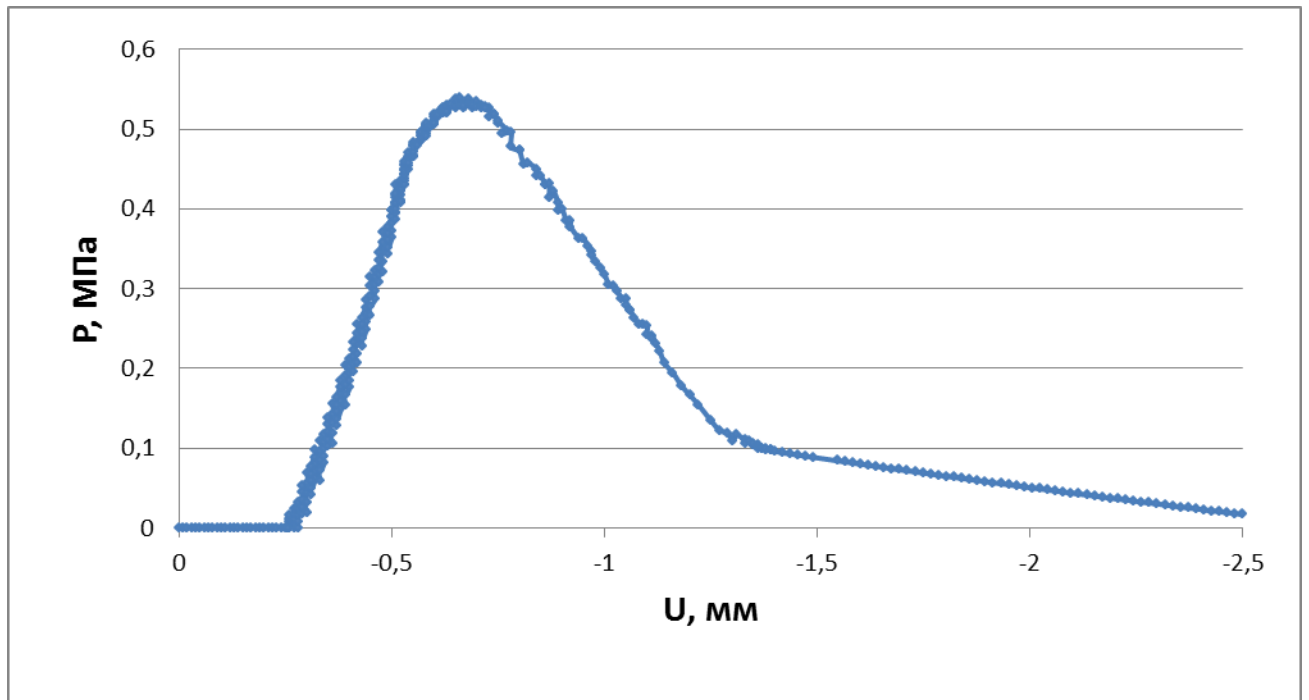


Рисунок Б.5 - Результат испытания пробного образца, моделирующего песчаный сланец прочностью на одноосное сжатие 55МПа

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1

Виды зависимостей внутри каждой части регрессионной модели

№	Условное обозначение	Название	№	Условное обозначение	Название
1	$b_0 + b_1 \cdot x$	прямая	13	$b_0 + \frac{b_1}{b_2 + b_3 \cdot x}$	обратная прямой
2	$b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2$	квадратичная	14	$b_0 + \frac{b_1 + b_2 \cdot x}{b_3 + b_4 \cdot x}$	отношение
3	$b_0 + b_1 \cdot \sqrt{x}$	сокращенная – корень	15	$b_0 + \frac{b_1}{b_2 + b_3 \cdot x + b_4 \cdot x^2}$	обратная квадратичной
4	$b_0 + \frac{b_1}{x}$	сокращенная – обратная прямой	16	$b_0 + (b_1 + b_2 \cdot x)^{\frac{b_3}{b_4}}$	степенная
5	$b_0 + b_1 \cdot x^{\frac{b_2}{b_3}}$	сокращенная – степенная	17	$b_0 + b_1 \cdot \sqrt{b_2 + b_3 \cdot x}$	корень
6	$b_0 + \frac{b_1}{x^{\frac{b_2}{b_3}}}$	сокращенная – обратная степенной	18	$b_0 + \frac{b_1}{(b_2 + b_3 \cdot x)^{\frac{b_4}{b_5}}}$	обратная степенной
7	$b_0 + b_1 \cdot e^{\frac{b_2 \cdot x}{b_3}}$	сокращенная – экспоненциальная	19	$b_0 + b_1 \cdot e^{(b_2 + b_3 \cdot x)^{\frac{b_4}{b_5}}}$	экспоненциальная
8	$b_0 + \frac{b_1}{e^{\frac{b_2 \cdot x}{b_3}}}$	сокращенная – обратная экспоненциальной	20	$b_0 + \frac{b_1}{e^{(b_2 + b_3 \cdot x)^{\frac{b_4}{b_5}}}}$	обратная экспоненциальной
9	$b_0 + b_1 \cdot \lg x$	сокращенная – логарифмическая	21	$b_0 + b_1 \cdot \lg(b_2 + b_3 \cdot x)$	логарифмическая
10	$b_0 + \frac{b_1}{\lg x}$	сокращенная – обратная логарифмической	22	$b_0 + \frac{b_1}{\lg(b_2 + b_3 \cdot x)}$	обратная логарифмической
11	$b_0 + b_1 \cdot (\sin x)^{\frac{b_2}{b_3}}$	сокращенная – синус	23	$b_0 + b_1 \cdot (\sin(b_2 + b_3 \cdot x))^{\frac{b_4}{b_5}}$	синус
12	$b_0 + b_1 \cdot (\cos x)^{\frac{b_2}{b_3}}$	сокращенная – косинус	24	$b_0 + b_1 \cdot (\cos(b_2 + b_3 \cdot x))^{\frac{b_4}{b_5}}$	косинус



Утверждаю:  
Главный инженер  
ООО «Шахта «Рассвет-1»  
А.И. Немшилов  
«09» апреля 2012 г.

**Протокол  
шахтных натуральных наблюдений за конвергенцией пород и  
деформированием охранного сооружения на участке сопряжения 10  
восточной лавы пл.  $l_6$  с конвейерным штреком**

г. Кировское

«09» апреля 2012 г.

Комиссия в составе представителей шахты ООО «Шахта «Рассвет-1»:  
Немшилов А.И. – главный инженер, председатель комиссии;  
Печная Е.А. – главный маркшейдер;  
Олейников С.И. – главный технолог;  
Янченко С.Б. – начальник участка;  
представителей ИГГ ДонНТУ:  
Сахно Иван Георгиевич – доц. каф. РМПИ, канд. техн. наук;  
Малышева Наталья Николаевна – ассистент каф. РМПИ;

рассмотрела результаты выполненных шахтных натуральных наблюдений за конвергенцией пород и деформированием охранного сооружения на участке сопряжения 10 восточной лавы пл.  $l_6$  с конвейерным штреком в условиях ООО «Шахта «Рассвет-1» проведенных в период с февраля 2012 г. по апрель 2012 г. и установила:

1. 10 восточный конвейерный штрек пласта  $l_6$  проводится с опережением лавы не менее 100м, с подрывкой пород кровли и почвы. Выработка служит для транспортирования угля из 10 восточной лавы пласта  $l_6$ . Крепление выработки осуществляется металлической податливой арочной крепью КМП-А3-11,2. Затяжка кровли и боков выработки – сплошную деревянной затяжкой. Планируемая длина выработки – 1200м. Сечение выработки: в свету  $S_{св} = 10,4м^2$ , в проходке  $S_{пр} = 13,0м^2$ . Шаг крепи – 1,0 рам/м. Способ выемки – совместный, БВР. Бурение шпуров осуществляется перфоратором с пневмоподдержки. Уборка горной массы производится породопогрузочной машиной МПК-1300, уборка угля вручную на конвейер СП-202. Проветривание выработки осуществляется при помощи вентилятора местного проветривания, воздух подается по прорезиненному трубопроводу.

Охрана штрека со стороны лавы осуществляется 2 рядами БЖБТ, установленных сплошную на расстоянии 0,5м от выработки, размер плиты БЖБТ – 0,4x0,5x0,15м; 1 рядом костров из деревянных стоек на расстоянии 2,7м от выработки диаметром 12см, длиной 1,2м, установленных с шагом 1,6м; 2 рядами стоек органной крепи со стороны выработанного пространства диаметром 12см, установленных сплошную.

Геологическая мощность пласта 0,62-0,84м, средняя мощность – 0,73м; угол падения пласта – 14°; марка угля – Т; зольность угля: пластовая – 8,8-9,9%, добытого угля – 17%; сопротивляемость угля резанию, – 130кгс/см<sup>2</sup>; плотность добытого угля – 1,46т/м<sup>3</sup>; наличие твердых включений в пласте – сидеритовые почки, конкреции колчедана, терригенные породы; тип геологических нарушений – волнистая гипсометрия пласта (перегибы), размывы угольного пласта, зоны флексурного изгиба; устойчивость непосредственной кровли – Б<sub>4-5</sub>; устойчивость почвы – П<sub>2</sub>; обрушаемость основной кровли – А<sub>3-2</sub>; максимальный приток воды в забой – до 3 м<sup>3</sup>/час; газоносность природная – 30-31м<sup>3</sup>/т.г.м.; глубина разработки – 530м; опасность пласта и вмещающих пород по: внезапным выбросам – угрожаемый с гл. 150м, горным ударам – неопасный, самовозгоранию угля – неопасный, внезапным прорывам воды – неопасный, взрывчатости пыли – неопасный.

2. На сопряжении лавы с конвейерным штреком на расстоянии от кромки выработки 0,5; 2,7; 4,5м в сторону выработанного пространства по линии эквидистантной продольной оси штрека по ближнему ряду БЖБТ, ряду костров и ближнему ряду органной крепи были установлены реперные станции в кровле и почве лавы. Для сооружения одной замерной станции в кровлю при помощи сверла СГП на глубину 100мм диаметром 40мм бурился шпур, в него забивали небольшой деревянный стержень, в стержень вкручивали крючок, на крючок вешали отвес и по отвесу измеряли расстояние между кровлей и почвой при помощи рулетки ВНИМИ с точностью до 0,01мм. Станции устанавливали сразу после выемки угля в очистном забое. По каждой замерной линии оборудовалось по три станции. Расстояние между станциями в линии определялось суточным подвиганием очистного забоя. Замеры по каждой линии производили до тех пор, пока имелась физическая возможность произвести замер между кровлей и почвой в опасных и стесненных условиях в выработанном пространстве лавы. Измерение расстояния между кровлей и почвой позволяло отследить его изменение во времени.

3. Исследования показали, что потеря высоты лавы по линии БЖБТ на расстоянии 0-5,4м (места выкладки БЖБТ) составляет 1,15см (1,58%), на расстоянии 5,4-12м – 6см (8,2%); по линии костров на расстоянии 0-5,4м составляет 1,55см (2,12%), на расстоянии 5,4-11,53м – 6,3см (8,63%); по линии органной крепи на расстоянии 0-5,4м составляет 1,8см(2,46%), на расстоянии 5,4-11,20м – 6,47см (8,86%).

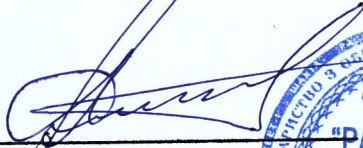
4. Вступление охранного сооружения в работу происходит после реализации смещений на высоту зазора между кровлей и верхней плоскостью охранной полосы из БЖБТ и из костров, или исчерпания податливости деревянных прокладок выкладываемых между охранными полосами и кровлей, что характеризуется уменьшением прироста смещений по реперным станциям.

## Выводы и рекомендации:

1. Общая вертикальная конвергенция кровли-почвы лавы на участке от очистного забоя до места выкладки охранных полос из БЖБТ и костров достигает 1,58-2,46% от мощности пласта, на участке от места выкладки охранных полос до места вступления их в работу – 8,2-8,86% от мощности пласта. Давление на охранные полосы интенсивно увеличивается после исчерпания зазоров между верхней плоскостью полос и кровлей, что характеризует этап вступления полос в работу.

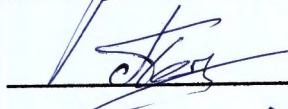
2. Рекомендуется разработать мероприятия позволяющие ускорить вступление охранных полос в работу, что обеспечит предотвращение расслоений пород кровли и улучшение эксплуатационного состояния конвейерного штрека.

Председатель комиссии:

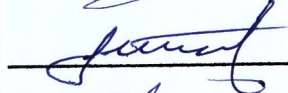


Немшилов А.И.

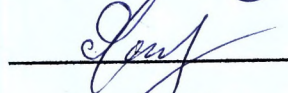
Члены комиссии:



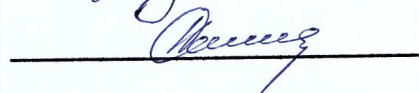
Печная Е.А.



Олейников С.И.



Янченко С.Б.



Сахно И. Г.



Малышева Н. Н.





Утверждаю:  
Главный инженер  
Ш/У «Донбасс»,  
В.И. Орлов  
« 5 » мая 2011 г.

**Протокол  
шахтных натуральных наблюдений за конвергенцией пород и  
деформированием охранного сооружения на участке сопряжения лавы с  
конвейерным штреком**

г. Донецк

« 5 » мая 2011 г.

Комиссия в составе представителей шахты «Щегловская–Глубокая»:  
Скрыль Константин Викторович – главный инженер, председатель комиссии;  
Шкуматов Михаил Николаевич – главный маркшейдер;  
Рыбалко Александр Сергеевич – главный технолог ПАО Ш/У «ДОНБАСС»;  
Горковенко Игорь Валерьевич – начальник участка №1;  
представителей ИГГ ДонНТУ:  
Касьян Николай Николаевич – зав. каф. РМПИ, докт. техн. наук, проф.;  
Сахно Иван Георгиевич – доц. каф. РМПИ, канд. техн. наук;  
Мокриенко Владимир Николаевич – аспирант каф. РМПИ;  
Малышева Наталья Николаевна – ассистент каф. РМПИ;

рассмотрела результаты выполненных шахтных натуральных наблюдений за конвергенцией пород и деформированием охранного сооружения на участке сопряжения 5 западной лавы пл. т<sub>3</sub> гор. 915 м с конвейерным штреком в условиях шахты «Щегловская–Глубокая» ПАО «Шахтоуправление "Донбасс" проведенных в период с февраля 2011 г. по апрель 2011 г. и установила:

1. Конвейерный штрек 5 западной лавы пл. т<sub>3</sub> гор. 915 м, проводится вслед за лавой с подрывкой пород кровли и почвы пласта, крепится металлоарочной крепью АП–5/18,3 из СВП–33 с подставками 1,4 м и шагом: 4×0,5м +1×0,8м, сечением S<sub>св.</sub> = 20,9 м<sup>2</sup>, S<sub>спр.</sub> = 28,6 м<sup>2</sup>, с железобетонной затяжкой кровли, затяжкой боков металлической сеткой. Охрана штрека со стороны лавы осуществлялась «жесткой» полосой из полублоков на глине размером 0,4х0,1х0,2 м каждый, шириной 2,0 м и высотой равной мощности пласта, сразу за подвиганием лавы, по схеме переноски кирпича при кладке стен.

Вынимаемая мощность пласта 1,37 - 1,52 м, угол падения от 7 до 12°, прочность угля на одноосное сжатие - 15 МПа, объемный вес – 1,32 т/м<sup>3</sup>. Ложная кровля, представлена глинистым сланцем с нарушенной текстурой или переслоенным прожилками угля, мощностью от 0,1 до 0,5 м. Непосредственная кровля представлена глинистым сланцем мощностью от 3,5 до 4,0 м. По устойчивости породы относятся к категории Б<sub>3</sub>, в зонах опорного давления – Б<sub>2</sub>. Основная кровля представлена верхней частью слоя

глинистого сланца, песчаным сланцем и песчаником общей мощностью от 28,0 м до 42,0 м. Глинистый сланец с прочностью на одноосное сжатие 40 МПа в верхней части слоя переходил в мелкозернистый песчаник мощностью 3,7 м с прочностью на одноосное сжатие от 75 до 95 МПа. Горючие породы основной кровли по обрушаемости относятся к категории А<sub>2</sub>. Непосредственная почва представлена песчаным сланцем мощностью 0,80 м, с прочностью на одноосное сжатие от 20 до 30 МПа. Основная почва – песчаным сланцем, с прочностью на одноосное сжатие от 61 до 75 МПа. Почва относится к категории П<sub>2</sub> – П<sub>3</sub>.

2. На сопряжении лавы с конвейерным штреком в косовичнике по линии эквидистантной продольной оси штрека по ряду стоек оконтуривающих охранную полосу на участке от забоя лавы до места погашения запасного выхода были установлены комплексные измерительные станции передвигаемые по мере подвигания забоя лавы, оборудованные динамометрами 45Д-135, а также реперными точками в кровле и почве лавы. Динамометры устанавливались под деревянные и гидростойки, что позволяло фиксировать динамику роста давления на стойки и охранное сооружение во времени и в зависимости от производственных процессов в лаве. Измерение конвергенции по реперным точкам позволяло отследить динамику смещений во времени.

3. Исследования показали, что потеря высоты лавы на участке от забоя до места погашения запасного выхода составляет 33-37% , при этом 15-17% конвергенции реализуется на участке от забоя лавы до охранного сооружения. Средний прирост давления на стойку за сутки составляет 7,2т. Интенсивный прирост давления на стойки наблюдается в течение 1 часа после выемки угля и передвижки секций механизированной крепи. Влияние производственных процессов на рост величины давления на стойки наблюдается на участке от забоя лавы до места возведения охранной полосы и имеет затухающий характер. Среднее давление по ряду стоек оконтуривающих охранную полосу на расстоянии 6 м от забоя составляет 4,6-4,8МПа, на расстоянии 10м от забоя - 8-8,4МПа. Давление на охранную полосу через 12 часов после ее возведения 0,5-0,53МПа, через 3 суток – 4,8-5,2МПа.



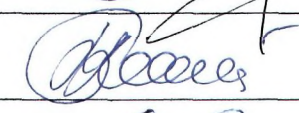
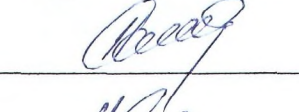
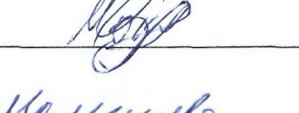
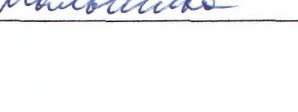

4. Вступление охранного сооружения в работу происходит после реализации смещений на высоту зазора между кровлей и верхней плоскостью охранной полосы из полублоков, или исчерпания податливости деревянных прокладок выкладываемых между полублоками и кровлей, что характеризуется уменьшением прироста смещений по реперным точкам и давления на динамометрах.

#### **Выводы и рекомендации:**

1. Общая вертикальная конвергенция кровли-почвы лавы на участке сопряжения в районе окна лавы достигает 33-37% от мощности пласта, при этом 15-17% конвергенции реализуется на участке от забоя лавы до охранного сооружения. Давление на охранную полосу интенсивно увеличивается после исчерпания зазоров между верхней плоскостью полосы и кровлей, что

характеризует этап вступления полосы в работу. Давление на охранное сооружение на момент погашения запасного выхода составляет 4,8-5,2МПа, что позволяет рассчитать ее необходимую прочность.

2. Рекомендуется разработать мероприятия позволяющие ускорить вступление охранной полосы в работу, что обеспечит предотвращение расслоений пород кровли и улучшение эксплуатационного состояния конвейерного штрека.

Председатель комиссии:		Скрыль К.В.
Члены комиссии:		Шкуматов М.Н.
		Рыбалко А.С.
		Горковенко И. В.
		Касьян Н. Н.
		Сахно И. Г.
		Мокриенко В. Н.
		Малышева Н. Н.





Утверждаю:  
Главный инженер  
ООО «Шахта «Рассвет-1»,  
А.И. Немшилов  
«01» июня 2012 г.



## АКТ

приемочных испытаний, способа охраны конвейерного штрека 10  
восточной лавы пласта l<sub>6</sub> породными тумбами с активным  
распором

« 01 » июня 2012 г.

Комиссия в составе представителей ООО «Шахта «Рассвет-1»:

А.И. Немшилов – главный инженер, председатель комиссии;  
С.И. Олейников – главный технолог;  
А.Ю. Смирнов – начальник участка;

представителей ИГГ ДонНТУ:

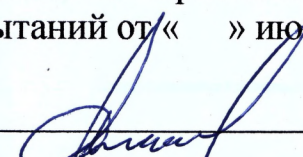
Н.Н. Малышева – ассистент каф. РМПИ;  
И.Г. Сахно – доц. каф. РМПИ, канд. техн. наук;

На основании протокола испытаний способа охраны конвейерного штрека 10 восточной лавы пласта l<sub>6</sub> породными тумбами с активным распором с параметрами рассчитанными по рекомендациям представителей ИГГ ДонНТУ комиссия считает данный способ прошедшим приемочные испытания и рекомендует:


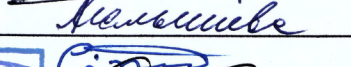
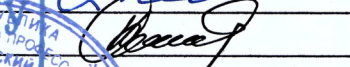

- провести доработку технологии способа охраны конвейерного штрека породными тумбами с активным распором и корректировку конструкторской документации в соответствии с протоколом приемочных испытаний.

Протокол приемочных испытаний от «    » июня 2012 г.

Председатель комиссии:

  
\_\_\_\_\_ А.И. Немшилов

Члены комиссии:

  
\_\_\_\_\_ С.И. Олейников  
  
\_\_\_\_\_ А.Ю. Смирнов  
  
\_\_\_\_\_ Н.Н. Малышева  
  
\_\_\_\_\_ И.Г. Сахно



## ПРОТОКОЛ

приемочных испытаний, способа охраны конвейерного штрека 10  
восточной лавы пласта I<sub>6</sub> породными тумбами с активным  
распором

« 01 » июня 2012 г.

Комиссия в составе представителей ООО «Шахта «Рассвет-1»:

А.И. Немшилов – главный инженер, председатель комиссии;  
С.И. Олейников – главный технолог;  
А.Ю. Смирнов – начальник участка;

представителей ИГГ ДонНТУ:

Н.Н. Малышева – ассистент каф. РМПИ;  
И.Г. Сахно – доц. каф. РМПИ, канд. техн. наук;

в соответствии с программой работ провела приемочные испытания способа охраны конвейерного штрека 10 восточной лавы пласта I<sub>6</sub> породными тумбами с активным распором.

Технология и конструкторская документация разработаны коллективом Донецкого национального технического университета в составе: ассистента кафедры РМПИ ДонНТУ Малышевой Н.Н., доцента кафедры РМПИ ДонНТУ, к.т.н. Сахно И.Г.

Комиссия отмечает следующее:

### 1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И НАМЕЧЕННАЯ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ. ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ И МЕСТА ИСПЫТАНИЙ

#### 1.1. Назначение и проектная область применения

Способ охраны конвейерного штрека породными тумбами с активным распором, рекомендуется применять в подготовительных выработках поддерживаемых после прохода очистного забоя.

## 1.2. Описание технологии

При реализации предлагаемого способа работы начинают с доставки обоймы-опалубки, установки ее на сопряжении лавы с подготовительной выработкой за нитками индивидуальной крепи над конвейерной головкой. Обойму-опалубку заполняют породой с оставлением места под эластичную оболочку с саморасширяющимся быстротвердеющим раствором. В качестве саморасширяющегося быстротвердеющего раствора используют смесь НРВ с добавлением 10-30% цемента. Затем производят укладку эластичной оболочки сверху на породу в оставленный зазор между охранным сооружением и кровлей, заливку приготовленного раствора в эластичную оболочку, герметизацию оболочки и установку зажимного устройства.

Согласно ТУ [1] на НРВ материал приготавливают непосредственно в месте ведения работ по установке охранный сооружения.

НРВ представляет собой порошкообразный материал на основе оксида кальция и обладает щелочными свойствами. Материал является пылящим, не горючим, не взрывоопасным, цвета от белого до серо-желтого с различными оттенками. Давление расширения составляет 80-120 МПа.

Рабочая смесь приготавливается путем добавления в воду сухого порошка НРВ при постоянном перемешивании с добавлением пластификатора СП-6. Массовые доли компонентов В:НРВ:СП-6 составляют 0,25:0,73:0,02. Расход материала на одну эластичную оболочку размерами ... составляет около 2,2 кг. Приготовленную порцию раствора следует залить в эластичную оболочку в течение 20 мин после затворения порошка водой. В качестве ускорителя реакции гидратации при необходимости сокращения времени разрушения пород в приготавливаемый раствор может добавляться  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . безводный карбонат натрия (кальцинированная сода) в соотношении 0,01-0,02 мас. дол., при этом для стабилизации свойств и повышения пороговой температуры парообразования следует также добавить в раствор хлорид натрия

0,1-0,2 мас. дол воды. В этом случае эластичная оболочка с залитым раствором НРВ должны быть герметизирована в течение 10 мин после приготовления состава.

Пример приготовления материала из 6 кг порошка:

В емкость 10-12 л влить 2,0 л воды, в которую добавить пластификатор СП-6 в количестве 100-240 мл, после чего полученную смесь перемешать. В готовый раствор при постоянном перемешивании малыми порциями засыпать 6 кг порошка НРВ. После чего для ускорения реакции гидратации добавить 40гр  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , и 200 грамм  $\text{NaCl}$ . При необходимости приготовления других количеств смеси, количество компонентов изменяется в соответствующей пропорции.

Твердение раствора, заключенного в эластичную оболочку, происходит в условиях ограниченного расширения, что приводит к росту ее давления на кровлю. Максимальное значение давления, а, следовательно, несущей способности охранного сооружения, достигается через 8 часов после нагнетания. С этого момента охранное сооружение эксплуатируется в рабочем режиме.

### 1.3. Характеристика условий и места испытания

Приемочные испытания осуществлялись на участке сопряжения 10 восточной лавы пласта  $I_6$  с конвейерным штреком в условиях ООО «Шахта «Рассвет-1». Горно-геологические и горнотехнические условия выемочного участка приведены в табл.1.

Таблица 1 - Горно-геологические и горнотехнические условия  
 выемочного участка 10 восточной лавы пласта I<sub>6</sub>  
 ООО «Шахты «Рассвет-1»

Шахта, лава, символ пласта, причина отнесения к трудноуправляемым	Горно-геологические условия					Горнотехнические условия и параметры управления кровлей крепления		
	Мощность пласта (геологическая и вынимаемая (м), угол падения (град) глубина разработки, (м)	Непосредственная кровля: состав, мощность слоев, прочность, устойчивость, шаг обрушения, м (первичный и дальнейший)	Основная кровля: состав, мощность слоев, прочность, обрушаемость, шаг обрушения, м (первичный и дальнейший)	Непосредственная почва: состав, мощность, прочность, устойчивость	Параметры зон ОГД, направление, размер целика, пласт, мощность междупласть, его состав, степень опасности зоны	Система разработки, длина лавы (м), длина части выемочного участка, способ управления кровлей	Оборудование очистного забоя (тип комбайна, конвейера, крепления призабойного и специального)	Плотность крепи: призабойного ст/м <sup>2</sup> , специального ст/м, расстояние между рамками призабойной крепи, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
«Рассвет-1» 10 восточная лава пласта I <sub>6</sub> , работа от монтажного ходка	0,84-0,62 0,73 14° 530	Песчаник с прослоями сланца песчаного m=1-2 f=6-8 Б <sub>4</sub> (Б <sub>5</sub> ) 1,0/5,0	Песчаник мелкозернистый m=9,7-11 f=6-9 А <sub>3</sub> (А <sub>2</sub> ) 40/15	Сланец песчаный комковатый m=0,5-0,6 f=4-6 П <sub>2</sub> Сланец песчаный плотный m=0,8-1,5 f=5-6 П <sub>2</sub>	-	Сплошная 200 220 Полное обрушение	УСТ-2М СП-48 4ТУ-20 «Спутник» ОКУ-02	9сТ 2,35 1,11 По простиранию 0,8м По падению 0,9м

## 2. ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СПОСОБА ОХРАНЫ КОНВЕЙЕРНОГО ШТРЕКА ПОРОДНЫМИ ТУМБАМИ С АКТИВНЫМ РАСПОРОМ

### 2.1. Ход испытаний

Работы на экспериментальных участках проводились в июне 2011 г. по технологии, изложенной в пункте 1.2.

### 2.2. Результаты проведения испытаний

В 10 восточном конвейерном штреке была произведена установка охранного сооружения, представленного породными тумбами с активным распором. На сопряжение лавы с 10 восточным конвейерным штреком были доставлены 5 обойм-опалубок высотой 0,55 м и диаметром 1 м, 5 эластичных оболочек высотой 0,07 м и диаметром 0,9 м и компоненты саморасширяющегося быстротвердеющего раствора, в качестве которого использовалась смесь НРВ с добавлением 10-30% цемента.

Затем была произведена установка обойм-опалубок на расстоянии 0,4 м от контура выработки и 6,2-12,8 м от бровки лавы. Обоймы-опалубки были заполнены рядовой породой диаметром 5-10 см. Потом была произведена укладка эластичных оболочек сверху на породу в оставленный зазор между охранным сооружением и кровлей, приготовление (согласно рецептуре, приведенной в п. 1.2) и заливка раствора в эластичную оболочку, герметизацию оболочки и установку зажимного устройства.

Через 2,5 часа после заливки раствора в эластичные оболочки произошло такое увеличение объема раствора в оболочке, что позволило ей распереться между охранным сооружением и кровлей.

Еще через 2,5 часа давление оболочки на охранный сооружение и кровлю возросло настолько, что было слышно, как потрескивает порода, уплотняясь в обойме-опалубке.

Через 8 часов после заливки раствора в эластичные оболочки активное потрескивание прекратилось. Было достигнуто максимальное значение давления  $a$ , следовательно, несущей способности охранного сооружения. С этого момента охранное сооружение эксплуатировалось в рабочем режиме.

В процессе приемочных испытаний выявлены эксплуатационные и конструктивные недостатки, отмеченные в разделе 4.

### 2.3. Рекомендации

Приемочные испытания способа охраны конвейерного штрека породными тумбами с активным распором в условиях 10 восточной лавы пласта  $l_6$  считать законченными.

Разработанный коллективом ИГГ ДонНТУ способ охраны конвейерного штрека породными тумбами с активным распором рекомендовать для внедрения в подготовительных выработках поддерживаемых после прохода лавы.

Представителям ИГГ ДонНТУ провести доработку способа охраны конвейерного штрека породными тумбами с активным распором и корректировку документации, устранив при этом недостатки, изложенные в разделе 3 настоящего протокола.

### 3 ВЫЯВЛЕННЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ НЕДОСТАТКИ

Недостатками являются: несовершенство технологии приготовления, и заливки саморасширяющегося состава в распорные емкости тумб, сложность доставки обойм-оболочек значительных габаритов.

Необходимо механизировать процесс приготовления и размещения готового саморасширяющегося состава в распорные емкости породных тумб, а также разработать складывающиеся гибкие обоймы-оболочки.

#### 4 ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании результатов приемочных испытаний описанного способа охраны конвейерного штрека породными тумбами с активным распором, комиссия пришла к следующим выводам:

1. Применение описанного способа охраны конвейерного штрека породными тумбами с активным распором позволяет ускорить включение в работу охранного сооружения, что способствует уменьшению расслоений приконтурных пород и повышению устойчивости выработки.
2. Продолжить экспериментальные работы на ООО «Шахта «Рассвет-1».
3. Приемочные испытания способа охраны конвейерного штрека породными тумбами с активным распором, при помощи саморасширяющихся составов в условиях 10 восточной лавы пласта I<sub>6</sub> считать законченными.
4. Способ охраны конвейерного штрека породными тумбами с активным распором рекомендовать для внедрения в подготовительных выработках поддерживаемых после прохода лавы.
5. Представителям ИГГ ДонНТУ провести доработку технологии и корректировку документации, устранив при этом недостатки, изложенные в разделе 3 настоящего протокола.

#### 5 ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. ТУ У В.2.7-26.5-24478901-004:2007 Невибухова руйнуюча речовина. Технічні умови. – на заміну ТУ У БВ 2.7.00030937.089397. Без обмеження терміну дії. – Харьков: Госстандарт. Харьковский центр стандартизации и аэрологии, 2007-14с.

Председатель комиссии:

А.И.Немшилов

Члены комиссии:

С.И. Олейников

СОГЛАСНО ОРИГИНАЛУ

А.Ю. Смирнов

Ученый секретарь

Н.Н. Малышева

диссертационного совета

И.Г. Сахно





## СПРАВКА

О внедрении способа охраны конвейерного штрека 10 восточной лавы пласта I<sub>6</sub> породными тумбами с активным распором в условиях ООО «Шахта «Рассвет-1»,

В соответствии с разработанной методикой по проведению промышленных испытаний способа охраны конвейерного штрека 10 восточной лавы пласта I<sub>6</sub> породными тумбами с активным распором были проведены промышленные испытания способа.

Способ охраны выработки породными тумбами с активным распором включает установку цилиндрической обоймы-оболочки, заполнение ее закладочным материалом (рядовой породой), и принудительный распор закладочного материала, способствующий включению охранного сооружения в работу. Для создания распора закладочного материала после заполнения опалубки сверху размещают цилиндрические секционные оболочки, в которые после заполнения опалубки помещают саморасширяющийся при твердении материал. Твердение саморасширяющегося раствора, заключенного в оболочку, происходило в условиях ограниченного расширения, что привело к активному распору охранного сооружения между кровлей и почвой, и позволило включить его в работу по предотвращению расслоений пород на участке сопряжения в течение времени набора прочности вяжущим, что способствовало уменьшению смещений в конвейерном штреке 10 восточной лавы пласта I<sub>6</sub>.

Главный инженер  
ООО «Шахта «Рассвет-1»



## Log-файлы для определения модуля упругости охранного сооружения

Костер	Тумба с распором
/prep7	/prep7
et,1,solid45	et,1,solid45
mptemp,,,,,,,,	mptemp,,,,,,,,
mptemp,1,0	mptemp,1,0
mpdata,ex,1,,2e14	mpdata,ex,1,,2e14
mpdata,prxy,1,,0.3	mpdata,prxy,1,,0.3
mptemp,,,,,,,,	mptemp,,,,,,,,
mptemp,1,0	mptemp,1,0
mpdata,ex,2,,300e6	mpdata,ex,2,,611.919e6
mpdata,prxy,2,,0.018	mpdata,prxy,2,,0.3
blc5,0.4,0.065,0.12,0.13,1.2	wpoff,0.875,0,-1.23
vgen,,1,,,,,-1.6325,,,1	wprot,0,-90,0
vgen,2,1,,,0.8,,,0	cyl4,0,0,0.375,,,,,0.73
blc5,0.4,0.31,0.12,0.12,1.2	wprot,0,90,0
vgen,,3,,,,,-1.6325,,,1	wpoff,-0.875,0,1.23
vgen,2,3,,,0.8,,,0	vgen,2,1,,,0.875,,,,,0
vgen,2,3,4,,,0.24,,,0	a,9,16,14,12
wpoff,0.2,0.19,-0.5825	vsba,2,9
wprot,0,0,-90	vgen,2,3,,,,-1.75,,,,,0
blc5,0,0,0.12,0.12,-1.2	vdele,3,,,1
wprot,0,0,90	block,0,1.75,0.73,0.83,0,-2.46,
wpoff,-0.2,-0.19,0.5825	numcmp,all
vgen,2,7,,,,,-0.9,,0	vsel,s,,,1,4,1
vgen,3,7,8,,,0.24,,,0	vglue,all
block,0,1.6,0.73,0.83,0,-1.925,	vsel,all
vglue,all	vsel,s,,,1,2,1
numcmp,all	vsel,a,,,4
vsel,s,,,1	vatt,2,,1,0
vatt,1,,1,0	vsel,s,,,5
vsel,s,,,2,13,1	vatt,1,,1,0
vatt,2,,1,0	vsel,s,,,1,2,1
vsel,all	vsel,a,,,4
lsel,s,,,5,25,10	vsweep,all
lsel,a,,,33,89,8	mshkey,0
lsel,a,,,99	mshape,1,3d
lesize,all,,,3,,,,,1	vsel,s,,,5
lsel,all	vmesh,all
vsel,s,,,1,13,1	vsel,all
vsweep,all	numcmp,all
mshkey,0	! создание контактных пар
mshape,1,3d	*dim,asel_1,array,2
vsel,s,,,1	*vfill,asel_1(1),data,3,3
vmesh,all	*dim,asel_2,array,2
vsel,all	*vfill,asel_2(1),data,4,4
da,32,ux,	*dim,asel_3,array,2
da,33,ux,	*vfill,asel_3(1),data,8,15
da,3,uy,	*dim,asel_4,array,2
da,6,uy,	*vfill,asel_4(1),data,17,16
da,29,uz,	*do,i,1,2
da,30,uz,	mp,mu,2,0.3
dk,5,,,,0,all,,,,,	mat,2
dk,13,,,,0,all,,,,,	r,i+2
sfa,31,1,pres,0.75e6	real,i+2
lswrite,1,	et,2*i,170
finish	et,2*i+1,174

Костер	Тумба с распором
/sol	keyopt,2*i+1,5,0
antype,0	keyopt,2*i+1,10,2
nlgeom,1	keyopt,2*i+1,12,0
nropt,unsym	asel,s,,,asel_1(i)
pstres,1	asel,a,,,asel_2(i)
oures,all,all	type,2*i
outpr,basic,last	nsla,s,1
lssolve,1,1,1,	esln,s,0
	esll,u
	esel,u,ename,,188,189
	esurf
	asel,s,,,asel_3(i)
	asel,a,,,asel_4(i)
	type,2*i+1
	nsla,s,1
	esln,s,0
	esurf
	allsel
	*enddo
	*set,asel_1
	*set,asel_2
	*set,asel_3
	*set,asel_4
	asel,s,,,18,19,1
	da,all,ux,
	asel,s,,,1,5,4
	asel,a,,,13
	da,all,uy,
	asel,s,,,10,11,1
	da,all,uz,
	asel,s,,,6,9,3
	da,all,symm
	asel,all
	ksel,s,,,1,9,8
	ksel,a,,,17
	dk,all,,,,,0,all,,,,,
	ksel,all
	sfa,12,1,pres,42.5e6
	lswrite,1,
	finish
	/sol
	antype,0
	nlgeom,1
	nropt,unsym
	pstres,1
	oures,all,all
	outpr,basic,last
	lssolve,1,1,1,

Log-файлы для определения эффективности использования тумб с распором в условиях шахты «Рассвет-1» (модель без лавы)

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
/prep7	/prep7
et,1,solid45	et,1,solid45
*dim,ex_,array,11	*dim,ex_,array,11
*vfill,ex_(1),data,2.69e10,2.277e10,2.404e10,2.262e10,4.2e8,1.851e10,2.277e10,2.833e10,2.256e10,42.524e6,	*vfill,ex_(1),data,2.69e10,2.277e10,2.404e10,2.262e10,4.2e8,1.851e10,2.277e10,2.833e10,2.256e10,183.590e6,
*vfill,ex_(11),data,7.595e6,	*vfill,ex_(11),data,7.595e6,
*dim,prxy_,array,11	*dim,prxy_,array,11
*vfill,prxy_(1),data,0.24,0.395,0.255,0.263,0.08,0.372,0.395,0.232,0.170,0.3,	*vfill,prxy_(1),data,0.24,0.395,0.255,0.263,0.08,0.372,0.395,0.232,0.170,0.3,
*vfill,prxy_(11),data,0.3,	*vfill,prxy_(11),data,0.3,
*dim,dens_,array,11	*dim,dens_,array,11
*vfill,dens_(1),data,2.7e3,2.615e3,2.7e3,2.7e3,1.52e3,2.615e3,2.615e3,2.7e3,2.67e3,182.425,	*vfill,dens_(1),data,2.7e3,2.615e3,2.7e3,2.7e3,1.52e3,2.615e3,2.615e3,2.7e3,2.67e3,399.773,
*vfill,dens_(11),data,56.104,	*vfill,dens_(11),data,56.104,
*dim,coh,array,9	*dim,coh,array,9
*vfill,coh(1),data,15.51e6,18.63e6,14.27e6,13.65e6,9.9e6,14.35e6,18.63e6,16.15e6,17.0e6,	*vfill,coh(1),data,15.51e6,18.63e6,14.27e6,13.65e6,9.9e6,14.35e6,18.63e6,16.15e6,17.0e6,
*dim,afr,array,9	*dim,afr,array,9
*vfill,afr(1),data,38.98,42.66,35.16,32.74,38,43,42.66,40.47,44.31,	*vfill,afr(1),data,38.98,42.66,35.16,32.74,38,43,42.66,40.47,44.31,
*dim,adil,array,9	*dim,adil,array,9
*vfill,adil(1),data,38.98,42.66,35.16,32.74,28,43,42.66,40.47,44.31,	*vfill,adil(1),data,38.98,42.66,35.16,32.74,28,43,42.66,40.47,44.31,
*do,i,1,11	*do,i,1,11
mptemp,,,,,,,,	mptemp,,,,,,,,
mptemp,1,0	mptemp,1,0
mpdata,ex,i,,ex_(i)	mpdata,ex,i,,ex_(i)
mpdata,prxy,i,,prxy_(i)	mpdata,prxy,i,,prxy_(i)
mpdata,dens,i,,dens_(i)	mpdata,dens,i,,dens_(i)
*if,i,le,9,then	*if,i,le,9,then
tb,dp,i	tb,dp,i
tldata,1,coh(i),afr(i),adil(i)	tldata,1,coh(i),afr(i),adil(i)
*endif	*endif
*enddo	*enddo
*set,ex_	*set,ex_
*set,prxy_	*set,prxy_
*set,dens_	*set,dens_
*set,coh	*set,coh
*set,afr	*set,afr
*set,adil	*set,adil
block,0,25,0,13.035,0,-5,	block,0,25,0,13.035,0,-5,
block,0,25,13.035,17.535,0,-5,	block,0,25,13.035,17.535,0,-5,
block,0,25,17.535,19.035,0,-5,	block,0,25,17.535,19.035,0,-5,
block,0,25,19.035,19.635,0,-5,	block,0,25,19.035,19.635,0,-5,
block,0,6.78,19.635,20.365,0,-5,	block,0,6.78,19.635,20.365,0,-5,
block,0,25,20.365,22.365,0,-5,	block,0,25,20.365,22.365,0,-5,
block,0,25,22.365,33.365,0,-5,	block,0,25,22.365,33.365,0,-5,
block,0,25,33.365,34.965,0,-5,	block,0,25,33.365,34.965,0,-5,
block,0,25,34.965,36.665,0,-5,	block,0,25,34.965,36.665,0,-5,
block,11.8,12.8,19.635,20.22,0,-5,	block,11.8,12.8,19.635,20.365,0,-5,
block,14,15.2,19.635,20.365,0,-5,	block,14,15.2,19.635,20.365,0,-5,
k, .6.78,20.365,0,	k, .6.78,20.365,0,
k, .6.78,20.735,0,	k, .6.78,20.735,0,

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
k, ,9.04,22.99,0,	k, ,9.04,22.99,0,
k, ,11.3,20.735,0,	k, ,11.3,20.735,0,
k, ,11.3,20.365,0,	k, ,11.3,20.365,0,
lstr,89,90	lstr,89,90
lstr,93,92	lstr,93,92
larc,90,92,91	larc,90,92,91
lstr,89,93	lstr,89,93
al,136,133,135,134	al,136,133,135,134
vext,67,,,0,0,-5,,,	vext,67,,,0,0,-5,,,
flst,2,2,6,orde,2	flst,2,2,6,orde,2
fitem,2,6	fitem,2,6
fitem,2,-7	fitem,2,-7
vsbv,p51x, 12	vsbv,p51x, 12
numcmp,all	numcmp,all
*dim,vol_,array,12	*dim,vol_,array,12
*vfill,vol_(1),data,1,2,3,4,5,10,11,12,6,7	*vfill,vol_(1),data,1,2,3,4,5,10,11,12,6,7
*vfill,vol_(11),data,8,9	*vfill,vol_(11),data,8,9
*dim,vatt_,array,12	*dim,vatt_,array,12
*vfill,vatt_(1),data,1,2,3,4,5,6,6,7,8,9	*vfill,vatt_(1),data,1,2,3,4,5,6,6,7,8,9
*vfill,vatt_(11),data,10,11	*vfill,vatt_(11),data,10,11
*do,i,1,12	*do,i,1,12
vsel,s,,,vol_(i)	vsel,s,,,vol_(i)
vatt,vatt_(i),,1,0	vatt,vatt_(i),,1,0
*enddo	*enddo
vsel,all	vsel,all
*set,vol_	*set,vol_
*set,vatt_	*set,vatt_
vsweep,all	vsweep,all
! создание контактных пар	! создание контактных пар
*dim,mat_1,array,14	*dim,mat_1,array,14
*vfill,mat_1(1),data,1,3,4,5,5,6,6,8,8,10,	*vfill,mat_1(1),data,1,3,4,5,5,6,6,8,8,10,
*vfill,mat_1(11),data,11,10,11,4,	*vfill,mat_1(11),data,11,10,11,4,
*dim,asel_1,array,14	*dim,asel_1,array,14
*vfill,asel_1(1),data,9,10,16,22,62,63,68,38,44,22,	*vfill,asel_1(1),data,9,10,16,22,62,63,68,38,44,22,
*vfill,asel_1(11),data,22,67,67,67,	*vfill,asel_1(11),data,22,67,67,67,
*dim,asel_2,array,14	*dim,asel_2,array,14
*vfill,asel_2(1),data,4,15,21,27,28,72,73,33,39,50,	*vfill,asel_2(1),data,4,15,21,27,28,72,73,33,39,50,
*vfill,asel_2(11),data,56,51,57,22	*vfill,asel_2(11),data,56,51,57,22
*do,i,1,14	*do,i,1,14
*if,i,eq,12,or,i,eq,14,then	*if,i,eq,12,or,i,eq,14,then
ko_5=0	ko_5=0
*else	*else
ko_5=1	ko_5=1
*endif	*endif
mp,mu,mat_1(i),0.3	mp,mu,mat_1(i),0.3
mat,mat_1(i)	mat,mat_1(i)
r,i+2	r,i+2
real,i+2	real,i+2
et,2*i,170	et,2*i,170
et,2*i+1,174	et,2*i+1,174
keyopt,2*i+1,5,ko_5	keyopt,2*i+1,5,ko_5
keyopt,2*i+1,10,2	keyopt,2*i+1,10,2
keyopt,2*i+1,12,0	keyopt,2*i+1,12,0
asel,s,,,asel_1(i)	asel,s,,,asel_1(i)
type,2*i	type,2*i
nsla,s,1	nsla,s,1
esln,s,0	esln,s,0
esll,u	esll,u

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
esel,u,ename,,188,189	esel,u,ename,,188,189
esurf	esurf
asel,s,,,asel_2(i)	asel,s,,,asel_2(i)
type,2*i+1	type,2*i+1
nsla,s,1	nsla,s,1
esln,s,0	esln,s,0
esurf	esurf
allsel	allsel
*enddo	*enddo
*set,mat_1	*set,mat_1
*set,asel_1	*set,asel_1
*set,asel_2	*set,asel_2
finish	finish
/sol	/sol
*dim,da_1,array,42	*dim,da_1,array,42
*vfill,da_1(1),data,3,5,6,11,12,17,18,23,24,29,	*vfill,da_1(1),data,3,5,6,11,12,17,18,23,24,29,
*vfill,da_1(11),data,31,32,34,35,40,41,46,47,1,2,	*vfill,da_1(11),data,31,32,34,35,40,41,46,47,1,2,
*vfill,da_1(21),data,7,8,13,14,19,20,25,26,36,37,	*vfill,da_1(21),data,7,8,13,14,19,20,25,26,36,37,
*vfill,da_1(31),data,42,43,48,49,54,55,65,66,70,71,	*vfill,da_1(31),data,42,43,48,49,54,55,65,66,70,71,
*vfill,da_1(41),data,75,76,	*vfill,da_1(41),data,75,76,
*do,i,1,42	*do,i,1,42
*if,i,eq,1,then	*if,i,eq,1,then
j='uy'	j='uy'
*elseif,i,ge,19,then	*elseif,i,ge,19,then
j='uz'	j='uz'
*else	*else
j='ux'	j='ux'
*endif	*endif
da,da_1(i),j,	da,da_1(i),j,
*enddo	*enddo
*set,da_1	*set,da_1
acel,0,9.81,0,	acel,0,9.81,0,
sfa,45,1,pres,12.769e6	sfa,45,1,pres,12.769e6
lswrite,1,	lswrite,1,
antype,0	antype,0
nlgeom,1	nlgeom,1
nropt,unsym	nropt,unsym
pstres,1	pstres,1
outres,all,all	outres,all,all
outpr,basic,last	outpr,basic,last
kbc,0	kbc,0
deltim,0.001,0.001,0.05	deltim,0.001,0.001,0.05
time,1	time,1
lssolve,1,1,1,	lssolve,1,1,1,

## Log-файлы для определения модуля упругости искусственной опоры

Блок 1	Блок 2
/prep7	/prep7
et,1,solid45	et,1,solid45
*dim,ex_,array,4	*dim,ex_,array,4
*vfill,ex_(1),data,2.0e14,59.641e6,143.737e6,300.0e6,	*vfill,ex_(1),data,2.0e14,26.306e6,143.737e6,300.0e6,
*dim,prxy_,array,4	*dim,prxy_,array,4
*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.3,0.3,0.018,	*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.3,0.3,0.018,
*do,i,1,4	*do,i,1,4
mptemp,,,,,,,,	mptemp,,,,,,,,
mptemp,1,0	mptemp,1,0
mpdata,ex,i,,ex_(i)	mpdata,ex,i,,ex_(i)
mpdata,prxy,i,,prxy_(i)	mpdata,prxy,i,,prxy_(i)
*enddo	*enddo
*set,ex_	*set,ex_
*set,prxy_	*set,prxy_
block,1.34,1.46,0,0.69,-0.615,-0.735,	block,1.34,1.46,0,0.69,-0.615,-0.735,
vgen,4,1,,,0.8,,,,0	vgen,4,1,,,0.8,,,,0
block,1.2,1.6,0.69,0.73,-0.615,-0.735,	block,1.2,1.6,0.69,0.73,-0.615,-0.735,
vgen,4,5,,,0.8,,,,0	vgen,4,5,,,0.8,,,,0
wpoff,4.1,0,-0.225	wpoff,4.1,0,-0.225
wprot,0,-90,0	wprot,0,-90,0
cyl4,0,0,0.174,,,,,0.73	cyl4,0,0,0.19, , , 0.73
wpoff,-4.1,-0.225	wpoff,-4.1,-0.225
wprot,0,90,0	wprot,0,90,0
block,0,4.6,0.73,0.83,0,-0.9,	block,0,4.6,0.73,0.83,0,-0.9,
vglue,all	vglue,all
*dim,vol_,array,10	*dim,vol_,array,10
*vfill,vol_(1),data,1,2,3,4,9,11,12,13,14,15,	*vfill,vol_(1),data,1,2,3,4,9,11,12,13,14,15,
*dim,vatt_,array,10	*dim,vatt_,array,10
*vfill,vatt_(1),data,2,2,2,2,3,4,4,4,4,1,	*vfill,vatt_(1),data,2,2,2,2,3,4,4,4,4,1,
*do,i,1,10	*do,i,1,10
vsel,s,,,vol_(i)	vsel,s,,,vol_(i)
vatt,vatt_(i),,1,0	vatt,vatt_(i),,1,0
*enddo	*enddo
vsel,all	vsel,all
*set,vol_	*set,vol_
*set,vatt_	*set,vatt_
*dim,lse1,array,39	*dim,lse1,array,39
*vfill,lse1(1),data,54,66,78,90,112,2,11,14,23,26,	*vfill,lse1(1),data,54,66,78,90,112,2,11,14,23,26,
*vfill,lse1(11),data,35,38,47,59,71,83,95,119,121,123,	*vfill,lse1(11),data,35,38,47,59,71,83,95,119,121,123,
*vfill,lse1(21),data,125,127,129,131,97,98,99,100,8,20,	*vfill,lse1(21),data,125,127,129,131,97,98,99,100,8,20,
*vfill,lse1(31),data,32,44,55,67,79,91,105,113,117,	*vfill,lse1(31),data,32,44,55,67,79,91,105,113,117,
*dim,lesize1,array,39	*dim,lesize1,array,39
*vfill,lesize1(1),data,3,3,3,3,5,5,5,5,5,	*vfill,lesize1(1),data,3,3,3,3,5,5,5,5,5,
*vfill,lesize1(11),data,5,5,5,5,5,5,5,5,5,	*vfill,lesize1(11),data,5,5,5,5,5,5,5,5,5,
*vfill,lesize1(21),data,5,5,5,5,6,6,6,6,15,15,	*vfill,lesize1(21),data,5,5,5,5,6,6,6,6,15,15,
*vfill,lesize1(31),data,15,15,15,15,15,15,15,15,15,	*vfill,lesize1(31),data,15,15,15,15,15,15,15,15,15,
*do,i,1,39	*do,i,1,39
lesize,lse1(i),,lesize1(i),,,,1	lesize,lse1(i),,lesize1(i),,,,1
*enddo	*enddo
vsweep,all	vsweep,all
*set,lse1	*set,lse1
*set,lesize1	*set,lesize1
mshape,0,3d	mshape,0,3d
mshkey,1	mshkey,1
vsel,s,,,1,4,1	vsel,s,,,1,4,1
vmesh,all	vmesh,all

Блок 1	Блок 2
mshape,0,3d	mshape,0,3d
mshkey,0	mshkey,0
vsel,s,,,11,14,1	vsel,s,,,11,14,1
vsel,a,,,9	vsel,a,,,9
vsweep,all	vsweep,all
mshape,1,3d	mshape,1,3d
mshkey,0	mshkey,0
vsel,s,,,15	vsel,s,,,15
vmesh,all	vmesh,all
vsel,all	vsel,all
numcmp,node	numcmp,node
numcmp,elem	numcmp,elem
asel,s,,,3,21,6	asel,s,,,3,21,6
asel,a,,,49	asel,a,,,49
da,all,uy,	da,all,uy,
asel,s,,,57,58,1	asel,s,,,57,58,1
da,all,ux,	da,all,ux,
asel,s,,,53,54,1	asel,s,,,53,54,1
da,all,uz,	da,all,uz,
asel,all	asel,all
ksel,s,,,5,29,8	ksel,s,,,5,29,8
ksel,a,,,67	ksel,a,,,67
dk,all,,,0,all,,,,,	dk,all,,,0,all,,,,,
ksel,all	ksel,all
sfa,56,1,pres,0.6e6	sfa,56,1,pres,0.2e6
lswrite,1,	lswrite,1,
finish	finish
/sol	/sol
antype,0	antype,0
nlgeom,1	nlgeom,1
nropt,unsym	nropt,unsym
pstres,1	pstres,1
outres,all,all	outres,all,all
outpr,basic,last	outpr,basic,last
lssolve,1,1,1,	lssolve,1,1,1,

Таблица М.2

## Log-файлы для определения модуля упругости искусственной опоры

Блок 3.1	Блок 3.2
/prep7	/prep7
et,1,solid45	et,1,solid45
*dim,ex_,array,4	*dim,ex_,array,4
*vfill,ex_(1),data,2.0e14,59.641e6,7500.0e6,300.0e6,	*vfill,ex_(1),data,2.0e14,59.641e6,7500.0e6,300.0e6,
*dim,prxy_,array,4	*dim,prxy_,array,4
*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.3,0.45,0.018,	*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.3,0.45,0.018,
*do,i,1,4	*do,i,1,4
mptemp,,,,,,,,	mptemp,,,,,,,,
mptemp,1,0	mptemp,1,0
mpdata,ex,i,,ex_(i)	mpdata,ex,i,,ex_(i)
mpdata,prxy,i,,prxy_(i)	mpdata,prxy,i,,prxy_(i)
*enddo	*enddo
*set,ex_	*set,ex_
*set,prxy_	*set,prxy_
block,0.14,0.26,0,0.69,-0.12,-0.24,	block,0.14,0.26,0,0.69,-0.12,-0.24,
vgen,4,1,,,0.8,,,0	vgen,4,1,,,0.8,,,0
vgen,2,4,,,1.2,,,0	vgen,2,4,,,1.2,,,0
vgen,2,5,,,0.8,,,0	vgen,2,5,,,0.8,,,0
vgen,2,3,6,1,,,0.12,,0	vgen,2,3,6,1,,,0.12,,0
vgen,3,10,,,0.8,,,0	vgen,3,10,,,0.8,,,0



Блок 3.1	Блок 3.2
block,0.05,4.75,0.69,0.73,-0.12,-0.24,	block,0.05,4.75,0.69,0.73,-0.12,-0.24,
vgen,2,13,,,1.6,,0.12,,0	vgen,2,13,,,1.6,,0.12,,0
block,6.05,6.607,0.69,0.73,-0.12,-0.24,	block,6.05,6.607,0.69,0.73,-0.12,-0.24,
wpoff,6.2,0,-0.18	wpoff,6.2,0,-0.18
wprot,0,-90,0	wprot,0,-90,0
cyl4,0,0,0.06,,,,,0.69	cyl4,0,0,0.06,,,,,0.69
wpoff,-6.2,-0.18	wpoff,-6.2,-0.18
wprot,0,90,0	wprot,0,90,0
block,0,6.607,0.73,0.83,0,-0.405,	block,0,6.607,0.73,0.83,0,-0.9,
vgen,,1,16,1,,,0.0825,,,1	vgen,,1,16,1,,,0.33,,,1
vglue,all	vglue,all
*dim,vol_,array,17	*dim,vol_,array,17
*vfill,vol_(1),data,1,2,3,4,5,6,11,18,19,20,	*vfill,vol_(1),data,1,2,3,4,5,6,11,18,19,20,
*vfill,vol_(11),data,21,22,23,24,25,26,27,	*vfill,vol_(11),data,21,22,23,24,25,26,27,
*dim,vatt_,array,17	*dim,vatt_,array,17
*vfill,vatt_(1),data,2,2,2,2,2,2,3,2,2,	*vfill,vatt_(1),data,2,2,2,2,2,2,3,2,2,
*vfill,vatt_(11),data,2,2,2,4,1,4,4,	*vfill,vatt_(11),data,2,2,2,4,1,4,4,
*do,i,1,17	*do,i,1,17
vsel,s,,,vol_(i)	vsel,s,,,vol_(i)
vatt,vatt_(i),,1,0	vatt,vatt_(i),,1,0
*enddo	*enddo
vsel,all	vsel,all
*set,vol_	*set,vol_
*set,vatt_	*set,vatt_
mshape,1,3d	mshape,1,3d
mshkey,0	mshkey,0
vsel,s,,,1,6,1	vsel,s,,,1,6,1
vsel,a,,,11	vsel,a,,,11
vsel,a,,,18,27,1	vsel,a,,,18,27,1
vmesh,all	vmesh,all
vsel,all	vsel,all
numcmp,node	numcmp,node
numcmp,elem	numcmp,elem
asel,s,,,99,133,34	asel,s,,,99,133,34
da,all,ux,	da,all,ux,
asel,s,,,3,33,6	asel,s,,,3,33,6
asel,a,,,63,91,28	asel,a,,,63,91,28
asel,a,,,103,115,4	asel,a,,,103,115,4
asel,a,,,121	asel,a,,,121
da,all,uy,	da,all,uy,
asel,s,,,95,132,37	asel,s,,,95,132,37
da,all,uz,	da,all,uz,
asel,all	asel,all
kssel,s,,,5,93,8	kssel,s,,,5,93,8
kssel,a,,,121	kssel,a,,,121
dk,all,,,,,0,all,,,,,	dk,all,,,,,0,all,,,,,
kssel,all	kssel,all
sfa,98,1,pres,2.5e6	sfa,98,1,pres,1e6
lswrite,1,	lswrite,1,
finish	finish
/sol	/sol
antype,0	antype,0
nlgeom,1	nlgeom,1
nropt,unsym	nropt,unsym
pstres,1	pstres,1
outres,all,all	outres,all,all
outpr,basic,last\$lsolve,1,1,1,	outpr,basic,last\$lsolve,1,1,1,

## Log-файлы для определения модуля упругости искусственной опоры

Блок 4.1	Блок 4.2	Блок 4.3
/prep7	/prep7	/prep7
et,1,solid45	et,1,solid45	et,1,solid45
*dim,ex_,array,5	*dim,ex_,array,5	*dim,ex_,array,5
*vfill,ex_(1),data,2.0e14,59.641e6, 7500.0e6,300.0e6,26.306e6	*vfill,ex_(1),data,2.0e14,59.641e6, 7500.0e6,300.0e6,26.306e6	*vfill,ex_(1),data,2.0e14,59.641e6, 7500.0e6,300.0e6,26.306e6
*dim,prxy_,array,5	*dim,prxy_,array,5	*dim,prxy_,array,5
*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.3,0.45,0.018, 0.3	*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.3,0.45,0.018, 0.3	*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.3,0.45,0.018, 0.3
*do,i,1,5	*do,i,1,5	*do,i,1,5
mpTEMP,,,,,,,,	mpTEMP,,,,,,,,	mpTEMP,,,,,,,,
mpTEMP,1,0	mpTEMP,1,0	mpTEMP,1,0
mpDATA,EX,I,,EX_(I)	mpDATA,EX,I,,EX_(I)	mpDATA,EX,I,,EX_(I)
mpDATA,PRXY,I,,PRXY_(I)	mpDATA,PRXY,I,,PRXY_(I)	mpDATA,PRXY,I,,PRXY_(I)
*ENDDO	*ENDDO	*ENDDO
*SET,EX_	*SET,EX_	*SET,EX_
*SET,PRXY_	*SET,PRXY_	*SET,PRXY_
block,0.14,0.26,0,0.69,-0.19,-0.31,	block,0.14,0.26,0,0.69,-0.19,-0.31,	block,0.14,0.26,0,0.69,-0.19,-0.31,
vgen,3,1,,,0.8,,,0	vgen,3,1,,,0.8,,,0	vgen,3,1,,,0.8,,,0
vgen,2,3,,,2.8,,,0	vgen,2,3,,,2.8,,,0	vgen,2,3,,,2.8,,,0
block,0.05,4.75,0.69,0.73,-0.19,-0.31,	block,0.05,4.75,0.69,0.73,-0.19,-0.31,	block,0.05,4.75,0.69,0.73,-0.19,-0.31,
vsymm,x,1,5,1,,0,0	vsymm,x,1,5,1,,0,0	vsymm,x,1,5,1,,0,0
vgen,,6,10,1,6.4,,0.12,,,1	vgen,,6,10,1,6.4,,0.12,,,1	vgen,,6,10,1,6.4,,0.12,,,1
block,6.05,6.607,0.69,0.73,-0.19,-0.31,	wPOFF,6.347,0,-0.64	block,6.05,6.607,0.69,0.73,-0.19,-0.31,
wPOFF,6.2,0,-0.25	wPROT,0,-90,0	wPOFF,6.2,0,-0.25
wPROT,0,-90,0	cyl4,0,0,0.19,,,0.73	wPROT,0,-90,0
cyl4,0,0,0.06,,,0.69	wPOFF,-6.347,-0.64	cyl4,0,0,0.06,,,0.69
wPOFF,-6.2,-0.25	wPROT,0,90,0	wPOFF,-6.2,-0.25
wPROT,0,90,0	block,0,6.607,0.73,0.83,0,-0.9,	wPROT,0,90,0
wPOFF,6.347,0,-0.64	vGLUE,all	block,0,6.607,0.73,0.83,0,-0.9,
wPROT,0,-90,0	!*	vGLUE,all
cyl4,0,0,0.19,,,0.73	!*	!*
wPOFF,-6.347,-0.64	!*	!*
wPROT,0,90,0	!*	!*
block,0,6.607,0.73,0.83,0,-0.9,	!*	!*
vGLUE,all	!*	!*
*dim,vol_,array,14	*dim,vol_,array,12	*dim,vol_,array,13
*vfill,vol_(1),data,1,2,3,4,7,13,15,16,17, 18,	*vfill,vol_(1),data,1,2,3,4,6,7,11,13,14,1 5,	*vfill,vol_(1),data,1,2,3,4,7,14,15,16,17, 18,
*vfill,vol_(11),data,19,20,21,22,	*vfill,vol_(11),data,16,17,	*vfill,vol_(11),data,19,20,21,
*dim,vatt_,array,14	*dim,vatt_,array,12	*dim,vatt_,array,13
*vfill,vatt_(1),data,2,2,2,2,2,5,3,2,2,2,	*vfill,vatt_(1),data,2,2,2,2,2,2,5,2,2,1,	*vfill,vatt_(1),data,2,2,2,2,2,3,2,2,2,4,
*vfill,vatt_(11),data,4,1,4,4,	*vfill,vatt_(11),data,4,4,	*vfill,vatt_(11),data,1,4,4,
*do,i,1,14	*do,i,1,12	*do,i,1,13
vsel,s,,,vol_(i)	vsel,s,,,vol_(i)	vsel,s,,,vol_(i)
vatt,vatt_(i),,1,0	vatt,vatt_(i),,1,0	vatt,vatt_(i),,1,0
*ENDDO	*ENDDO	*ENDDO
vsel,all	vsel,all	vsel,all
*set,vol_	*set,vol_	*set,vol_
*set,vatt_	*set,vatt_	*set,vatt_
mshape,1,3d	mshape,1,3d	mshkey,0
mshkey,0	mshkey,0	mshape,1,3d
vsel,s,,,1,4,1	vsel,s,,,1,4,1	vsel,s,,,1,4,1
vsel,a,,,7,13,6	vsel,a,,,6,7,1	vsel,a,,,7
vsel,a,,,15,22,1	vsel,a,,,11	vsel,a,,,14,21,1
vmesh,all	vsel,a,,,13,17,1	vmesh,all
vsel,all	vmesh,all	vsel,all
numcmp,node	vsel,all	numcmp,node

Блок 4.1	Блок 4.2	Блок 4.3
numcmp,elem	numcmp,node	numcmp,elem
asel,s,,,79,103,24	numcmp,elem	asel,s,,,75,99,24
da,all,ux,	asel,s,,,69,70,1	da,all,ux,
asel,s,,,3,21,6	da,all,ux,	asel,s,,,3,21,6
asel,a,,,39,67,28	asel,s,,,3,21,6	asel,a,,,39,67,28
asel,a,,,71,83,12	asel,a,,,33,39,6	asel,a,,,79,83,4
asel,a,,,87,93,6	asel,a,,,61,71,10	asel,a,,,89
da,all,uy,	asel,a,,,75	da,all,uy,
asel,s,,,75,76,1	da,all,uy,	asel,s,,,71,72,1
da,all,uz,	asel,s,,,65,66,1	da,all,uz,
asel,all	da,all,uz,	asel,all
ksel,s,,,5,29,8	asel,all	ksel,s,,,5,29,8
ksel,a,,,46,70,8	ksel,s,,,5,29,8	ksel,a,,,46,70,8
ksel,a,,,89,97,8	ksel,a,,,46,70,8	ksel,a,,,89
dk,all,,,,,0,all,,,,,	ksel,a,,,81	dk,all,,,,,0,all,,,,,
ksel,all	dk,all,,,,,0,all,,,,,	ksel,all
sfa,78,1,pres,1e6	ksel,all	sfa,74,1,pres,1e6
lswrite,1,	sfa,68,1,pres,0.25e6	lswrite,1,
finish	lswrite,1,	finish
/sol	finish	/sol
antype,0	/sol	antype,0
nlgeom,1	antype,0	nlgeom,1
nropt,unsym	nlgeom,1	nropt,unsym
pstres,1	nropt,unsym	pstres,1
outres,all,all	pstres,1	outres,all,all
outpr,basic,last	outres,all,all	outpr,basic,last
lssolve,1,1,1,	outpr,basic,last	lssolve,1,1,1,
	lssolve,1,1,1,	

Таблица М.4

## Log-файлы для определения модуля упругости искусственной опоры

Блок 5	Блок 6
/prep7	/prep7
et,1,solid45	et,1,solid45
*dim,ex_,array,3	*dim,ex_,array,3
*vfill,ex_(1),data,2.0e14,7500.0e6,300.0e6	*vfill,ex_(1),data,2.0e14,7500.0e6,300.0e6
*dim,prxy_,array,3	*dim,prxy_,array,3
*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.45,0.018	*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.45,0.018
*do,i,1,3	*do,i,1,3
mptemp,,,,,,,,	mptemp,,,,,,,,
mptemp,1,0	mptemp,1,0
mpdata,ex,i,,ex_(i)	mpdata,ex,i,,ex_(i)
mpdata,prxy,i,,prxy_(i)	mpdata,prxy,i,,prxy_(i)
*enddo	*enddo
*set,ex_	*set,ex_
*set,prxy_	*set,prxy_
wpoff,0.072,0,-0.3625	blc5,0.4,0.065,0.12,0.13,1.2
wprot,0,-90,0	vgen,,1,,,,,-1.6325,,,1
cyl4,0,0,0.06,,,,,0.69	vgen,2,1,,,0.8,,,,,0
wpoff,-0.072,-0.3625	blc5,0.4,0.31,0.12,0.12,1.2
wprot,0,90,0	vgen,,3,,,,,-1.6325,,,1
vgen,9,1,,,0.132,,,,,0	vgen,2,3,,,0.8,,,,,0
wpoff,1.27,0,-0.3625	vgen,2,3,4,,,0.24,,,0
wprot,0,-90,0	wpoff,0.2,0.19,-0.5825
cyl4,0,0,0.06,,,,,0.73	wprot,0,0,-90
wpoff,-1.27,-0.3625	blc5,0,0,0.12,0.12,-1.2
wprot,0,90,0	wprot,0,0,90
vgen,3,10,,,0.13,,,,,0	wpoff,-0.2,-0.19,0.5825

Блок 5	Блок 6
block,0,1.2,0.69,0.73,-0.3025,-0.4225,	vgen,2,7,,,,-0.9,,0
vsymm,x,1,13,1,,0,0	vgen,3,7,8,,0.24,,0
vgen,,14,26,1,1.6,,0.12,,1	wpoff,0.28,0,-0.3425
block,0,1.6,0.73,0.83,0,-0.605,	wprot,0,-90,0
vsel,s,,14,22,1	cyl4,0,0,0.06,,0.69
vsel,a,,26	wprot,0,90,0
vglue,all	wpoff,-0.28,0,0.3425
vsel,s,,1,9,1	vgen,2,13,,,,-0.12,,0
vsel,a,,13	vgen,2,13,14,,0.8,,0
vglue,all	block,0.08,1.28,0.69,0.73,-0.2825,-0.4025,
vsel,s,,26,28,2	block,0,0.48,0.69,0.73,-0.4025,-0.5225,
vglue,all	block,0.88,1.6,0.69,0.73,-0.4025,-0.5225,
vsel,s,,13	vgen,2,13,19,,,,-0.9,,0
vsel,a,,27,29,2	block,0,1.6,0.73,0.83,0,-1.925,
vglue,all	vsel,s,,1,12,1
vsel,all	vglue,all
lang,257,99,90,,	vsel,all
lang,277,207,90,,	vglue,13,14,15,16,17,18,19
asbl,106,287	vglue,20,21,22,23,24,25,26
asbl,103,273	vglue,12,13,31
vsel,s,,10,12,1	vglue,5,6,30
vsel,a,,23,26,1	vglue,7,12,13,14,15,16,27
vglue,all	vglue,5,17,18
*dim,vol_,array,27	*dim,vol_,array,27
*vfill,vol_(1),data,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,	*vfill,vol_(1),data,1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,
*vfill,vol_(11),data,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,	*vfill,vol_(11),data,12,13,14,15,16,17,18,28,29,32,
*vfill,vol_(21),data,21,22,23,24,25,27,28,	*vfill,vol_(21),data,33,34,35,36,37,38,39,
*dim,vatt_,array,27	*dim,vatt_,array,27
*vfill,vatt_(1),data,2,2,2,2,2,2,2,2,2,	*vfill,vatt_(1),data,2,2,2,2,1,3,2,2,2,2,
*vfill,vatt_(11),data,2,2,3,2,2,2,2,2,2,	*vfill,vatt_(11),data,3,3,3,3,3,3,3,3,3,
*vfill,vatt_(21),data,2,2,2,2,2,1,3,	*vfill,vatt_(21),data,3,3,3,3,3,3,3,
*do,i,1,27	*do,i,1,27
vsel,s,,vol_(i)	vsel,s,,vol_(i)
vatt,vatt_(i),,1,0	vatt,vatt_(i),,1,0
*enddo	*enddo
vsel,all	vsel,all
*set,vol_	*set,vol_
*set,vatt_	*set,vatt_
mshkey,0	mshkey,0
mshape,1,3d	mshape,1,3d
vsel,s,,1,25,1	vsel,s,,1,4,1
vsel,a,,27,28,1	vsel,a,,6,18,1
vmesh,all	vsel,a,,28,29,1
vsel,all	vsel,a,,32,39,1
numcmp,all	vmesh,all
asel,s,,111,115,4	vsel,all
da,all,ux,	numcmp,all
asel,s,,1,45,4	asel,s,,29,30,1
asel,a,,55,99,4	da,all,ux,
da,all,uy,	asel,s,,3,9,6
asel,s,,107,108,1	asel,a,,11,21,10
da,all,uz,	asel,a,,55,64,9
asel,all	asel,a,,71,79,8
ksel,s,,4,92,8	asel,a,,105,113,8
ksel,a,,105,193,8	da,all,uy,
dk,all,,,,0,all,,,,,	asel,s,,130,131,1
ksel,all	da,all,uz,
sfa,109,1,pres,10e6	asel,all
lswrite,1,	ksel,s,,6,14,8
finish	ksel,a,,97,108,11

Блок 5	Блок 6
/sol	kset,a,,,113,124,11
antype,0	kset,a,,,153,163,10
nlgeom,1	kset,a,,,167,177,10
nropt,unsym	dk,all,,,0,all,,,,,
pstres,1	kset,all
outres,all,all	sfa,132,1,pres,12e6
outpr,basic,last	lswrite,1,
lssolve,1,1,1,	finish
	/sol
	antype,0
	nlgeom,1
	nropt,unsym
	pstres,1
	outres,all,all
	outpr,basic,last
	lssolve,1,1,1,

Таблица М.5

## Log-файлы для определения модуля упругости искусственной опоры

Блок 7 (шахтный вариант)	Блок 7 (предлагаемый вариант)
/prep7	/prep7
et,1,solid45	et,1,solid45
*dim,ex_,array,4	mptemp,,,,,,,,
*vfill,ex_(1),data,2.0e14,43.524e6,7500.0e6,300.0e6,	mptemp,1,0
*dim,prxy_,array,4	mpdata,ex,1,,2e14
*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.3,0.45,0.018,	mpdata,prxy,1,,0.3
*do,i,1,4	mptemp,,,,,,,,
mptemp,,,,,,,,	mptemp,1,0
mptemp,1,0	mpdata,ex,2,, 611.919e6
mpdata,ex,i,,ex_(i)	mpdata,prxy,2,,0.3
mpdata,prxy,i,,prxy_(i)	mptemp,,,,,,,,
*enddo	mptemp,1,0
*set,ex_	mpdata,ex,3,,7500e6
*set,prxy_	mpdata,prxy,3,,0.45
wpoff,0.4,0,-2.19	mptemp,,,,,,,,
wprot,0,-90,0	mptemp,1,0
cyl4,0,0,0.06,,,,0.69	mpdata,ex,4,,300e6
wprot,0,90,0	mpdata,prxy,4,,0.018
wpoff,-0.4,0,2.19	wpoff,-0.4,0,0.84
vgen,2,1,,,0.8,,,,0	wprot,0,-90,0
block,0.2,1.4,0.69,0.73,-2.13,-2.25,	cyl4,0,0,0.06,,,,0.69
vgen,2,1,,,,,0.12,,0	wprot,0,90,0
block,0,0.6,0.69,0.73,-2.01,-2.13,	wpoff,0.4,0,-0.84
vsel,s,,,4,5,1	vgen,2,1,,,0.8,,,,0
vsymm,x,all,,,,0,0	block,-0.6,0.6,0.69,0.73,0.9,0.78,
vsel,s,,,6,7,1	vgen,2,1,3,1,1.6,,,,0
vgen,,all,,,1.6,,,,,1	vsymm,x,4,6,1,,0,0
vsel,s,,,1,7,1	vgen,2,1,9,1,0.8,,0.12,,0
vgen,2,all,,,,,1.8,,0	vgen,2,16,18,1,-1.6,,,,0
block,0,1.6,0,0.73,-0.73,-1.73,	vgen,2,1,21,1,,,,-1.8,,0
block,0,1.6,0.73,0.83,0,-2.46,	wprot,0,-90,0
vsel,s,,,1,16,1	cyl4,0,0,0.375,,,,0.73
vglue,all	wprot,0,90,0
*dim,vol_,array,16	vgen,4,43,,,0.875,,,,0
*vfill,vol_(1),data,15,17,18,19,20,21,22,23,24,25,	vsel,s,loc,z,-0.375,0.375
*vfill,vol_(11),data,26,27,28,29,30,31,	vsel,u,loc,x,-0.375,0.375
*dim,vatt_,array,16	vsymm,x,all,,,,0,0
*vfill,vatt_(1),data,2,3,3,3,3,3,3,3,3,4,	vsel,all
*vfill,vatt_(11),data,4,4,4,4,4,1,	wprot,0,0,90

Блок 7 (шахтный вариант)	Блок 7 (предлагаемый вариант)
*do,i,1,16	blc5,0,0.365,2.46,0.73
vsel,s,,vol_(i)	wprot,0,0,-90
vatt,vatt_(i),,1,0	*get, nummax1, area, 0, num, max
*enddo	agen,2,nummax1,,,2.4,,,,,0
vsel,all	agen,3,nummax1,,,2.4,,,,,1
*set,vol_	*get, nummax2, area, 0, num, max
*set,vatt_	vsel,s,loc,x,2.2,3.8
mshkey,0	vsba,all,nummax2,,,
mshape,1,3d	vsel,s,loc,x,-2.2,-3.8
vsel,s,,15	vsba,all,nummax1,,,
vsel,a,,17,31	vsel,s,loc,x,-2.4,-3.8
vmesh,all	vsel,a,loc,x,2.4,3.8
vsel,all	vdele,all,,1
numcmp,all	vsel,s,loc,z,-0.78,-1.02
asel,s,,,102,103,1	vglue,all
da,all,ux,	vsel,s,loc,z,0.78,1.02
asel,s,,,1,4,3	vglue,all
asel,a,,,15,18,3	block,-2.4,2.4,0.73,0.83,1.23,-1.23,
asel,a,,,31,42,11	vsel,s,loc,y,0.69,0.83
asel,a,,,46,54,8	vsel,a,loc,z,-0.641,0.641
asel,a,,,58	vglue,all
da,all,uy,	allsel,all
asel,s,,,35,36,1	numcmp,all
da,all,uz,	vsel,s,loc,y,0.73,0.83
asel,all	vatt,1,,1,0
ksel,s,,,4,12,8	vsel,s,loc,z,-0.641,0.641
ksel,a,,,25,39,14	vsel,u,loc,y,0.73,0.83
ksel,a,,,56,64,8	vatt,2,,1,0
ksel,a,,,77,91,14	vsel,s,loc,z,-0.78,-1.02
ksel,a,,,109	vsel,a,loc,z,0.78,1.02
dk,all,,,,,0,all,,,,,	vsel,u,loc,y,0.69,0.73
ksel,all	vatt,3,,1,0
sfa,37,1,pres,11.5e6	vsel,s,loc,y,0.69,0.73
lswrite,1,	vatt,4,,1,0
finish	vsel,all
/sol	mshape,1,3d
antype,0	vmesh,all
nlgeom,1	finish
nropt,unsym	/sol
pstres,1	asel,s,loc,x,2.4,2.4
outres,all,all	asel,a,loc,x,-2.4,-2.4
outpr,basic,last	asel,r,loc,y,0.73,0.83
lssolve,1,1,1,	da,all,ux,
	asel,s,loc,y,0,0
	da,all,uy,
	asel,s,loc,z,-1.23,-1.23
	asel,a,loc,z,1.23,1.23
	asel,r,loc,y,0.73,0.83
	da,all,uz,
	asel,s,loc,x,2.4,2.4
	asel,a,loc,x,-2.4,-2.4
	asel,u,loc,y,0.73,0.83
	da,all,symm
	asel,all
	ksel,s,loc,y,0,0
	ksel,r,loc,z,-1.02,-1.02
	dk,all,all,
	ksel,s,loc,y,0,0
	ksel,r,loc,z,-0.78,-0.78
	dk,all,all,

Блок 7 (шахтный вариант)	Блок 7 (предлагаемый вариант)
	kset,s,loc,y,0,0
	kset,r,loc,z,-0.1985,-0.1985
	dk,all,all,
	kset,s,loc,y,0,0
	kset,r,loc,z,0.375,0.375
	dk,all,all,
	kset,s,loc,y,0,0
	kset,r,loc,z,0.77,0.77
	dk,all,all,
	kset,s,loc,y,0,0
	kset,r,loc,z,0.78,0.78
	dk,all,all,
	kset,s,loc,y,0,0
	kset,r,loc,z,1.02,1.02
	dk,all,all,
	kset,all
	asel,s,loc,y,0.83,0.83
	*get, nummax3, area, 0, num, max
	sfa,nummax3,1,pres,14e6
	asel,all
	lswrite,1,
	sfadele,nummax3,1,pres
	sfa,nummax3,1,pres,16e6
	asel,all
	lswrite,2,
	antype,0
	nlgeom,1
	nropt,unsym
	pstres,1
	outres,all,all
	outpr,basic,last
	kbc,0
	deltim,0.001,0.001,0.05
	time,1
	lssolve,1,2,1,

## ПРИЛОЖЕНИЕ Н

## Н.1 Расчёт объемного веса блоков 1-6

Расчет объемного веса осуществлялся с помощью элементарных формул расчета объема параллелепипеда и цилиндра, на основании их линейных размеров, а также формулы расчета массы, на основании объема и плотности. Исходя из этих соображений, формулы не приводятся, а исходные данные для расчета объемного веса блоков и полученные результаты сводятся в таблицу Н.1.

## Н.2 Расчёт объемного веса блока 7

## Н.2.1 Предлагаемый вариант

Высота стойки при мощности пласта  $m = 0,73\text{м}$  и толщине верхняка  $h_{\text{верхняка}} = 0,04\text{м}$

$$h_{\text{стойки}} = m - h_{\text{верхняка}} = 0,73 - 0,04 = 0,69\text{м} \quad (\text{Н.2.1})$$

Объем стойки при диаметре  $d_{\text{стойки}} = 0,12\text{м}$

$$V_{\text{стойки}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{стойки}}^2}{4} \cdot h_{\text{стойки}} = \frac{\pi \cdot 0,12^2}{4} \cdot 0,69 = 0,0078\text{м}^3 \quad (\text{Н.2.2})$$

Масса стойки при плотности дерева  $\rho_{\text{дерева}} = 600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  [210]

$$m_{\text{стойки}} = \rho_{\text{дерева}} \cdot V_{\text{стойки}} = 600 \cdot 0,0078 = 3,90\text{кг} \quad (\text{Н.2.2})$$

Масса стоек на 1 верхняк при количестве стоек  $n_{\text{стойк}}^{\text{1верхняк}} = 2\text{шт}$

$$m_{\text{стойк}}^{\text{1верхняк}} = n_{\text{стойк}}^{\text{1верхняк}} \cdot m_{\text{стойк}} = 2 \cdot 3,90 = 7,80\text{кг} \quad (\text{Н.2.3})$$

Масса стоек на 1 верхняк для  $n_{\text{рядов}}^{\text{верхняков}} = 4\text{шт рядов рамок}$

$$m_{\text{стойк}}^{\text{1верхняк} \cdot \dots \text{рядов}} = n_{\text{рядов}}^{\text{верхняков}} \cdot m_{\text{стойк}}^{\text{1верхняк}} = 4 \cdot 7,80 = 31,21\text{кг} \quad (\text{Н.2.4})$$

Масса стоек на 1м выработки при шаге установки верхняков  $L_{\text{верхняков}} = 1,6\text{м}$

$$m_{\text{стойк}}^{\text{1м}} = \frac{1}{L_{\text{верхняков}}} \cdot m_{\text{стойк}}^{\text{1верхняк} \cdot \dots \text{рядов}} = \frac{1}{1,6} \cdot 31,21 = 19,51\text{кг} \quad (\text{Н.2.5})$$



## Объемный вес блоков 1-6

Элемент	Исходные данные	Блок										
		1	2	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3	5	6	7	
4ТУ20	масса 1шт, кг	25,9 [204]							-	-	-	
	количество, шт	4	4	12	12	8	8	8				
	масса всех шт, кг	103,6	103,6	310,8	310,8	207,2	207,2	207,2				
ОКУ-02	масса 1шт, кг	163,8[204]	-	-	-	-	-	-	-	-		
	количество, шт	1										
	масса всех шт, кг	163,8										
Спутник-02	масса 1шт, кг	-	365[204]	-	-	365[204]		-	-	-		
	количество, шт		1			1	1					
	масса всех шт, кг		365			365	365					
подлапок	длина, м	0,4	0,4	0,557	0,557	0,557	-	0,557	-	-		
	ширина, м	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12		0,12				
	толщина, м	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04		0,04				
	объем, м <sup>3</sup>	0,00192	0,00192	0,003	0,003	0,003		0,003				
	плотность дерева, кг/м <sup>3</sup>	600[210]						600[210]				
	количество, шт	4	4	1	1	1		1				
	масса всех шт, кг	4,608	4,608	1,604	1,604	1,604		1,604				
верхняк	длина, м	-	-	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	1,2	1,2	1,2	
	ширина, м			0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	толщина, м			0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	объем, м <sup>3</sup>			0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,0006	0,0006	0,0006
	количество, шт			2	2	2	2	2	2	2	4	4
	масса всех шт, кг			27,072	27,072	27,072	27,072	27,072	27,072	27,072	6,912	13,824
стойка	длина, м	-	-	0,69	0,69	0,69	-	0,69	0,69;0,73	0,69	0,69	
	диаметр, м			0,12	0,12	0,12		0,12	0,12	0,12	0,12	
	объем, м <sup>3</sup>			0,008	0,008	0,008		0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
	количество, шт			1	1	1		1	1	18;6	8	8
	масса всех шт, кг			4,682	4,682	4,682		4,682	4,682	4,682	84,280;29,722	37,458

## Продолжение таблицы Н.1

Элемент	Исходные данные	Блок										
		1	2	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3	5	6	7	
брус костровой	длина, м	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-
	ширина, м										0,12	
	толщина, м										0,12;0,13	
	объем, м <sup>3</sup>										0,017;0,019	
	количество, шт										10;2	
	масса всех шт, кг										103,68;22,464	
СП-48 линейная часть	масса 1м, кг	92,989[218]							-	-	-	
	длина, м	0,9	0,9	0,405	0,9	0,9	0,9	0,9				
	масса всех м, кг	83,690	83,690	37,661	83,690	83,690	83,690	83,690				
СП-48 привод	масса всего привода, кг	-	-	-	-	2110[218]			-	-	-	
	часть внутри блока					0,255	0,3396	0,4054				
	масса части, кг					538,05	716,56	855,39				
блок	длина, м	4,6	4,6	6,607	6,607	6,607	6,607	6,607	1,6	1,6	1,6	
	ширина, м	0,9	0,9	0,405	0,9	0,9	0,9	0,9	0,605	1,925	2,453	
	высота, м	0,73										
	объем, м <sup>3</sup>	3,022	3,022	1,953	4,341	4,341	4,341	4,341	4,341	0,707	2,248	2,865
	масса, кг	355,698	556,898	381,819	427,848	1227,298	1399,518	1179,642	120,914	177,426	Н.2.29,37	
	объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	117,695	184,269	195,468	98,564	282,736	322,410	271,757	171,111	78,912	Н.2.32,38	

Объем верхняка при длине верхняка  $L_{\text{верхняка}} = 1,2\text{м}$

$$V_{\text{верхняка}} = 0,12 \cdot 0,04 \cdot 1,2 = 0,0058\text{м}^3 \quad (\text{H.2.6})$$

Масса верхняка

$$m_{\text{верхняка}} = \rho_{\text{дерева}} \cdot V_{\text{верхняка}} = 500 \cdot 0,0058 = 2,88\text{кг} \quad (\text{H.2.7})$$

Масса верхняков для  $n_{\text{рядов}}^{\text{верхняков}} = 4$  шт рядов рамок

$$m_{\text{верхняков}}^{\dots\text{рядов}} = n_{\text{рядов}}^{\text{верхняков}} \cdot m_{\text{верхняка}} = 4 \cdot 2,88 = 11,52\text{кг} \quad (\text{H.2.8})$$

Масса верхняков на 1м выработки

$$m_{\text{верхняков}}^{1\text{м}} = \frac{1}{L_{\text{верхняков}}} \cdot m_{\text{верхняков}}^{\dots\text{рядов}} = \frac{1}{1,6} \cdot 11,52 = 7,20\text{кг} \quad (\text{H.2.9})$$

Плотность породы в разрыхленном состоянии при плотности породы в целике  $\rho_{\text{породы}}^{\text{в целике}} = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  и коэффициенте разрыхления породы  $k_{\text{р}}^{\text{породы}} = 1,51$  (результат лабораторных исследований по методике [219])

$$\rho_{\text{породы}}^{\text{в разр.сост.}} = k_{\text{р}}^{\text{породы}} \cdot \rho_{\text{породы}}^{\text{в целике}} = 1,51 \cdot 2700 = 1788 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (\text{H.2.10})$$

Масса породы на 1 опалубку при объеме породы на 1 опалубку  $V_{\text{пор}}^{1\text{оп}} = 0,294\text{м}^3$  (формула P.25)

$$m_{\text{пор}}^{1\text{оп}} = \rho_{\text{породы}}^{\text{в разр.сост.}} \cdot V_{\text{пор}}^{1\text{оп}} = 1788 \cdot 0,294 = 525\text{кг} \quad (\text{H.2.11})$$

Масса породы для рядов опалубок  $n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} = 1$  шт

$$m_{\text{пор}}^{\dots\text{рядов}} = n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} \cdot m_{\text{пор}}^{1\text{оп}} = 1 \cdot 525 = 525\text{кг} \quad (\text{H.2.12})$$

Масса породы на 1м выработки при расстоянии между опалубками  $L_{\text{оп}} = 0,875\text{м}$

$$m_{\text{пор}}^{1\text{м}} = \frac{1}{L_{\text{оп}}} \cdot m_{\text{пор}}^{\dots\text{рядов}} = \frac{1}{0,875} \cdot 525 = 600\text{кг} \quad (\text{H.2.13})$$

Масса НРВ на 1м выработки  $m_{\text{НРВ}}^{1\text{м}} = 11,79\text{кг}$  (формула P.13)

Масса ПЦПБ на 1м выработки  $m_{\text{ПЦПБ}}^{1\text{м}} = 3,46\text{кг}$  (формула P.14)

Масса воды на 1м выработки  $m_{\text{воды}}^{1\text{м}} = 4,19\text{кг}$  (формула P.15)

Площадь поверхности стенок опалубки

$$S_{\text{стенок}}^{\text{оп}} = \pi \cdot D_{\text{оп}} \cdot H_{\text{оп}} = \pi \cdot 0,75 \cdot 0,66 = 1,565\text{м}^2 \quad (\text{H.2.14})$$

Площадь поверхности дна опалубки

$$S_{\text{дна}}^{\text{оп}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{оп}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,75^2}{4} = 0,442\text{м}^2 \quad (\text{H.2.15})$$

Площадь поверхности опалубки

$$S_{\text{оп}} = S_{\text{стенок}}^{\text{оп}} + S_{\text{дна}}^{\text{оп}} = 1,565 + 0,442 = 2,007 \text{ м}^2 \quad (\text{H.2.16})$$

Объем материала стенок и дна опалубки при толщине стенок и дна  $t_{\text{оп}} = 0,0018 \text{ м}$  [217]

$$V_{\text{стенок+дна}}^{\text{оп}} = S_{\text{оп}} \cdot t_{\text{оп}} = 2,007 \cdot 0,0018 = 0,004 \text{ м}^3 \quad (\text{H.2.17})$$

Масса материала стенок и дна опалубки при плотности стали Ст2ПС  $\rho_{\text{стали}} = 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  [220] на 1 опалубку

$$m_{\text{стенок+дна}}^{1\text{оп}} = \rho_{\text{стали}} \cdot V_{\text{стенок+дна}}^{\text{оп}} = 7850 \cdot 0,004 = 28,36 \text{ кг} \quad (\text{H.2.18})$$

Масса материала стенок и дна опалубок для количества их рядов  $n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} = 1 \text{ шт}$

$$m_{\text{стенок+дна}}^{\text{оп...рядов}} = n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} \cdot m_{\text{стенок+дна}}^{1\text{оп}} = 1 \cdot 28,36 = 28,36 \text{ кг} \quad (\text{H.2.19})$$

Масса материала стенок и дна опалубок на 1 м выработки

$$m_{\text{стенок+дна}}^{\text{оп 1м}} = \frac{1}{L_{\text{оп}}} \cdot m_{\text{стенок+дна}}^{\text{оп...рядов}} = \frac{1}{0,875} \cdot 28,36 = 32,41 \text{ кг} \quad (\text{H.2.20})$$

Площадь дна оболочки при диаметре оболочки до расширения смеси  $D_{\text{об}} = 0,68 \text{ м}$  (формула P.2)

$$S_{\text{дна}}^{\text{об}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{об}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,68^2}{4} = 0,358 \text{ м}^2 \quad (\text{H.2.21})$$

Площадь оснований оболочки при их количестве  $n_{\text{доньев}}^{\text{об}} = 2 \text{ шт}$

$$S_{\text{доньев}}^{\text{об}} = n_{\text{доньев}}^{\text{об}} \cdot S_{\text{дна}}^{\text{об}} = 2 \cdot 0,358 = 0,716 \text{ м}^2 \quad (\text{H.2.22})$$

Площадь стенок, соединяющих основания при высоте оболочки до расширения смеси  $H_{\text{об}}^{\text{до}} = 0,04 \text{ м}$  (формула P.5)

$$S_{\text{стенок}}^{\text{об}} = \pi \cdot D_{\text{об}} \cdot H_{\text{об}}^{\text{до}} = \pi \cdot 0,68 \cdot 0,04 = 0,087 \text{ м}^2 \quad (\text{H.2.23})$$

Площадь оснований и стенок оболочки

$$S_{\text{доньев+стенок}}^{\text{об}} = S_{\text{доньев}}^{\text{об}} + S_{\text{стенок}}^{\text{об}} = 0,716 + 0,087 = 0,803 \text{ м}^2 \quad (\text{H.2.24})$$

Объем материала оснований и стенок оболочки при его толщине  $t_{\text{об}} = 0,0035 \text{ м}$  [221]

$$V_{\text{доньев+стенок}}^{\text{об}} = t_{\text{об}} \cdot S_{\text{доньев+стенок}}^{\text{об}} = 0,0035 \cdot 0,803 = 0,003 \text{ м}^3 \quad (\text{H.2.25})$$

Масса материала оснований и стенок оболочки при его плотности  $\rho_{\text{ПВХ}} = 1390 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  [222] на 1 оболочку

$$m_{\text{доньев+стенок}}^{1\text{об}} = \rho_{\text{ПВХ}} \cdot V_{\text{доньев+стенок}}^{1\text{об}} = 1390 \cdot 0,003 = 3,905 \text{ кг} \quad (\text{H.2.26})$$

Масса материала оснований и стенок оболочек для рядов опалубок  $n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} = 1$

$$m_{\text{доньев+стенок}}^{\text{об...рядов}} = n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} \cdot m_{\text{доньев+стенок}}^{1\text{об}} = 1 \cdot 3,905 = 3,905 \text{ кг} \quad (\text{H.2.27})$$

Масса материала оснований и стенок оболочек на 1м выработки

$$m_{\text{доньев+стенок}}^{\text{об 1м}} = \frac{1}{L_{\text{оп}}} \cdot m_{\text{доньев+стенок}}^{\text{об...рядов}} = \frac{1}{0,875} \cdot 3,905 = 4,463 \text{ кг} \quad (\text{H.2.28})$$

Масса всех материалов на 1м выработки

$$\begin{aligned} m_{\text{материалов}}^{1\text{м}} &= m_{\text{стоек}}^{1\text{м}} + m_{\text{верхняков}}^{1\text{м}} + m_{\text{пор}}^{1\text{м}} + m_{\text{НРВ}}^{1\text{м}} + m_{\text{ПЦ/ИБ}}^{1\text{м}} + m_{\text{воды}}^{1\text{м}} + m_{\text{стенок+дна}}^{\text{оп 1м}} \\ &\quad + m_{\text{доньев+стенок}}^{\text{об 1м}} = \\ &= 19,51 + 7,20 + 600 + 11,79 + 3,46 + 4,19 + 32,41 + 4,463 = 682,83 \text{ кг} \quad (\text{H.2.29}) \end{aligned}$$

Объем пространства на 1м выработки, который занимает блок 7 при его ширине  $b_{\text{пространства}}^{1\text{м}} = 2,453 \text{ м}$

$$V_{\text{пространства}}^{1\text{м}} = 1 \text{ м} \cdot b_{\text{пространства}}^{1\text{м}} \cdot m = 1 \text{ м} \cdot 2,453 \cdot 0,73 = 1,796 \text{ м}^3 \quad (\text{H.2.30})$$

Объемный вес всех материалов на 1м выработки

$$\gamma_{\text{материалов}}^{1\text{м}} = \frac{m_{\text{материалов}}^{1\text{м}}}{V_{\text{пространства}}^{1\text{м}}} = \frac{682,83}{1,796} = 380,24 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (\text{H.2.31})$$

Объемный вес всех материалов внутри блока 7 при его длине  $l_{\text{блока}} = 1,6 \text{ м}$

$$\gamma_{\text{материалов}}^{\text{блока}} = \gamma_{\text{материалов}}^{1\text{м}} \cdot l_{\text{блока}} = 380,24 \cdot 1,6 = 608,38 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (\text{H.2.32})$$

## Н.2.2 Шахтный вариант

Объем блока БЖБТ-7 с размерами  $0,4 \times 0,5 \times 0,1 \text{ м}$  –  $V_{0,4 \times 0,5 \times 0,1 \text{ м}}^{\text{блока}} = 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,1 = 0,02 \text{ м}^3$ .

Объем блока БЖБТ-7 с размерами  $0,4 \times 0,5 \times 0,15 \text{ м}$  –  $V_{0,4 \times 0,5 \times 0,15 \text{ м}}^{\text{блока}} = 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,15 = 0,03 \text{ м}^3$ .

Масса блока БЖБТ-7 с размерами  $0,4 \times 0,5 \times 0,1 \text{ м}$  при массе блока БЖБТ-7 с размерами  $0,4 \times 0,5 \times 0,15 \text{ м}$   $m_{0,4 \times 0,5 \times 0,15 \text{ м}}^{\text{блока}} = 73 \text{ кг}$  [63]

$$m_{0,4 \times 0,5 \times 0,1 \text{ м}}^{\text{блока}} = \frac{m_{0,4 \times 0,5 \times 0,15 \text{ м}}^{\text{блока}} \cdot V_{0,4 \times 0,5 \times 0,1 \text{ м}}^{\text{блока}}}{V_{0,4 \times 0,5 \times 0,15 \text{ м}}^{\text{блока}}} = \frac{73 \cdot 0,02}{0,03} = 48,667 \text{ кг} \quad (\text{H.2.33})$$

Масса всех блоков БЖБТ-7 внутри блока 7 при их количестве по мощности пласта  $n_{0,4 \times 0,5 \times 0,1\text{м}}^{\text{блоков}} = 5$  шт и количестве рядов тумб БЖБТ-7  $n_{\text{рядов}}^{\text{БЖБТ-7}} = 2$  шт (формула Р.19)

$$m_{0,4 \times 0,5 \times 0,1\text{м}}^{\text{блоков}} = m_{0,4 \times 0,5 \times 0,1\text{м}}^{\text{блока}} \cdot n_{0,4 \times 0,5 \times 0,1\text{м}}^{\text{блоков}} \cdot n_{\text{рядов}}^{\text{БЖБТ-7}} = 48,667 \cdot 5 \cdot 2 = 486,667 \text{ кг} \quad (\text{Н.2.34})$$

Толщина прокладки между блоками при количестве прокладок по мощности пласта  $n_{0,4 \times 0,5 \times 0,1\text{м}}^{\text{прокладок}} = 4$  шт и толщине блока  $h_{0,4 \times 0,5 \times 0,1\text{м}}^{\text{блока}} = 0,1\text{м}$

$$h_{0,4 \times 0,5 \times 0,1\text{м}}^{\text{прокладок}} = \frac{m - h_{0,4 \times 0,5 \times 0,1\text{м}}^{\text{блока}} \cdot n_{0,4 \times 0,5 \times 0,1\text{м}}^{\text{блоков}}}{n_{0,4 \times 0,5 \times 0,1\text{м}}^{\text{прокладок}}} = \frac{0,73 - 0,1 \cdot 5}{4} = 0,0575\text{м} \quad (\text{Н.2.35})$$

Ближайшая стандартная толщина прокладки  $h_{0,4 \times 0,5 \times 0,1\text{м}}^{\text{прокладок стандарт}} = 0,06\text{м}$  [223].

Объем прокладки с размерами  $0,4 \times 0,5 \times 0,06\text{м}$   $V_{0,4 \times 0,5 \times 0,06\text{м}}^{\text{прокладки}} = 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,06 = 0,012\text{м}^3$ .

Масса всех прокладок при плотности ДСП  $\rho_{\text{ДСП}} = 750 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  [223]

$$m_{0,4 \times 0,5 \times 0,06\text{м}}^{\text{прокладок}} = \rho_{\text{ДСП}} \cdot V_{0,4 \times 0,5 \times 0,06\text{м}}^{\text{прокладки}} \cdot n_{0,4 \times 0,5 \times 0,1\text{м}}^{\text{прокладок}} = 750 \cdot 0,012 \cdot 4 = 36\text{кг} \quad (\text{Н.2.36})$$

Масса всех материалов внутри блока 7 с учетом временной крепи (табл. Н.1)

$$\begin{aligned} m_{\text{материалов}} &= m_{0,4 \times 0,5 \times 0,1\text{м}}^{\text{блоков}} + m_{0,4 \times 0,5 \times 0,06\text{м}}^{\text{прокладок}} + m_{\text{верхняков}} + m_{\text{стоек}} = \\ &= 486,667 + 13,824 + 37,458 + 36 = 573,949\text{кг} \quad (\text{Н.2.37}) \end{aligned}$$

Объем блока 7 с размерами  $1,6 \times 2,453 \times 0,73\text{м}$   $V_{1,6 \times 2,453 \times 0,73\text{м}}^{\text{блока}} = 1,6 \cdot 2,453 \cdot 0,73 = 2,865\text{м}^3$ .

Объемный вес всех материалов внутри блока 7

$$\gamma_{\text{материалов}}^{\text{блока}} = \frac{m_{\text{материалов}}}{V_{1,6 \times 2,453 \times 0,73\text{м}}^{\text{блок-7}}} = \frac{573,949}{2,865} = 200,324 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (\text{Н.2.38})$$

Log-файлы для определения эффективности использования тубс с распором в условиях шахты «Рассвет-1» (модель с лавой  $\Sigma_0 = 50\text{м}$ )

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
/prep7	/prep7
et,1,solid45	et,1,solid45
*dim,ex_,array,21	*dim,ex_,array,21
*vfill,ex_(1),data,2.785e10,2.69e10,2.277e10,2.404e10, 2.262e10,4.2e8,1.851e10,2.277e10,2.833e10,2.256e10	*vfill,ex_(1),data,2.785e10,2.69e10,2.277e10,2.404e10, 2.262e10,4.2e8,1.851e10,2.277e10,2.833e10,2.256e10
*vfill,ex_(11),data,2.690e10,4.742e6,1.795e6,24.427e6, 11.135e6,11.189e6,1.990e6,10.643e6,943.260e6,146.889e6	*vfill,ex_(11),data,2.690e10,4.742e6,1.795e6,24.427e6, 11.135e6,11.189e6,1.990e6,10.643e6,943.260e6,146.889e6
*vfill,ex_(21),data,133.545e6	*vfill,ex_(21),data,269.365e6
*dim,prxy_,array,21	*dim,prxy_,array,21
*vfill,prxy_(1),data,0.14,0.24,0.395,0.255,0.263,0.08,0.372, 0.395,0.232,0.170	*vfill,prxy_(1),data,0.14,0.24,0.395,0.255,0.263,0.08,0.372, 0.395,0.232,0.170
*vfill,prxy_(11),data,0.240,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3	*vfill,prxy_(11),data,0.240,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3
*vfill,prxy_(21),data,0.3	*vfill,prxy_(21),data,0.3
*dim,dens_,array,21	*dim,dens_,array,21
*vfill,dens_(1),data,2.7325e3,2.7e3,2.615e3,2.7e3,2.7e3,1.52 e3,2.615e3,2.615e3,2.7e3,2.67e3	*vfill,dens_(1),data,2.7325e3,2.7e3,2.615e3,2.7e3,2.7e3,1.52 e3,2.615e3,2.615e3,2.7e3,2.67e3
*vfill,dens_(11),data,2.7e3,117.695,184.269,195.468,98.564, 282.736,322.41,271.757,171.111,78.912	*vfill,dens_(11),data,2.7e3,117.695,184.269,195.468,98.564, 282.736,322.41,271.757,171.111,78.912
*vfill,dens_(21),data,200.324	*vfill,dens_(21),data,608.38
*dim,coh,array,11	*dim,coh,array,11
*vfill,coh(1),data,12.5e6,15.51e6,18.63e6,14.27e6,13.65e6, 9.9e6,14.35e6,18.63e6,16.15e6,17e6	*vfill,coh(1),data,12.5e6,15.51e6,18.63e6,14.27e6,13.65e6, 9.9e6,14.35e6,18.63e6,16.15e6,17e6
*vfill,coh(11),data,15.51e6	*vfill,coh(11),data,15.51e6
*dim,afr,array,11	*dim,afr,array,11
*vfill,afr(1),data,45,38.98,42.66,35.16,32.74,38,43,42.66, 40.47,44.31	*vfill,afr(1),data,45,38.98,42.66,35.16,32.74,38,43,42.66, 40.47,44.31
*vfill,afr(11),data,38.98	*vfill,afr(11),data,38.98
*dim,adil,array,11	*dim,adil,array,11
*vfill,adil(1),data,45,38.98,42.66,35.16,32.74,28,43,42.66, 40.47,44.31	*vfill,adil(1),data,45,38.98,42.66,35.16,32.74,28,43,42.66, 40.47,44.31
*vfill,adil(11),data,38.98	*vfill,adil(11),data,38.98
*do,i,1,21	*do,i,1,21
mptemp,,,,,,,,	mptemp,,,,,,,,
mptemp,1,0	mptemp,1,0
mpdata,ex,i,,ex_(i)	mpdata,ex,i,,ex_(i)
mpdata,prxy,i,,prxy_(i)	mpdata,prxy,i,,prxy_(i)
mpdata,dens,i,,dens_(i)	mpdata,dens,i,,dens_(i)
*if,i,le,11,then	*if,i,le,11,then
tb,dp,i	tb,dp,i
tldata,1,coh(i),afr(i),adil(i)	tldata,1,coh(i),afr(i),adil(i)
*endif	*endif
*enddo	*enddo
*set,ex_	*set,ex_
*set,prxy_	*set,prxy_
*set,dens_	*set,dens_
*set,coh	*set,coh
*set,afr	*set,afr
*set,adil	*set,adil
block,0,30,30,30.73,0,-97.2,	block,0,30,30,30.73,0,-97.2,
block,34.52,64.52,30,30.73,-44.6,-97.2,	block,34.52,64.52,30,30.73,-44.6,-97.2,
block,34.52,39.52,30,30.73,-44.6,-47.2,	block,34.52,39.52,30,30.73,-44.6,-47.2,
vsbv,2,3	vsbv,2,3
numcmp,all	numcmp,all

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
block,40.42,64.52,30,30.73,-40,-44.6,	block,40.42,64.52,30,30.73,-40,-44.6,
block,39.52,40.42,30,30.73,-40,-44.6,	block,39.52,40.42,30,30.73,-40,-44.6,
block,34.52,35.42,30,30.73,-40.593,-47.2,	block,34.52,35.42,30,30.73,-40.593,-47.2,
vgen,3,5,,,0.9,,,0	vgen,3,5,,,0.9,,,0
block,37.22,39.115,30,30.73,-40.593,-47.2,	block,37.22,39.115,30,30.73,-40.593,-47.2,
block,39.115,39.52,30,30.73,-40.593,-47.2,	block,39.115,39.52,30,30.73,-40.593,-47.2,
block,34.52,36.973,30,30.585,0,-39.193,	block,34.52,36.973,30,30.73,0,-39.193,
block,36.973,38.898,30,30.73,0,-39.193,	block,36.973,38.898,30,30.73,0,-39.193,
block,38.898,39.52,30,30.73,0,-39.193,	block,38.898,39.52,30,30.73,0,-39.193,
block,0,64.52,0,10.365,0,-97.2,	block,0,64.52,0,10.365,0,-97.2,
block,0,64.52,10.365,23.40,0,-97.2,	block,0,64.52,10.365,23.40,0,-97.2,
block,0,64.52,23.40,27.90,0,-97.2,	block,0,64.52,23.40,27.90,0,-97.2,
block,0,64.52,27.90,29.40,0,-97.2,	block,0,64.52,27.90,29.40,0,-97.2,
block,0,64.52,29.40,30,0,-97.2,	block,0,64.52,29.40,30,0,-97.2,
block,0,64.52,30.73,32.73,0,-97.2,	block,0,64.52,30.73,32.73,0,-97.2,
block,0,64.52,32.73,43.73,0,-97.2,	block,0,64.52,32.73,43.73,0,-97.2,
block,0,64.52,43.73,45.33,0,-97.2,	block,0,64.52,43.73,45.33,0,-97.2,
block,0,64.52,45.33,47.03,0,-97.2,	block,0,64.52,45.33,47.03,0,-97.2,
block,0,64.52,47.03,63.36,0,-97.2,	block,0,64.52,47.03,63.36,0,-97.2,
k, ,30,30.73,0,	k, ,30,30.73,0,
k, ,30,31.1,0,	k, ,30,31.1,0,
k, ,34.52,30.73,0,	k, ,34.52,30.73,0,
k, ,34.52,31.1,0,	k, ,34.52,31.1,0,
k, ,32.26,33.355,0,	k, ,32.26,33.355,0,
lstr, 181, 182	lstr, 181, 182
lstr, 183, 184	lstr, 183, 184
larc, 182, 184, 185	larc, 182, 184, 185
lstr, 181, 183	lstr, 181, 183
al,271,273,272,274	al,271,273,272,274
vext,135, , ,0,0,-97.2,,,,	vext,135, , ,0,0,-97.2,,,,
flst,2,2,6,orde,2	flst,2,2,6,orde,2
fitem,2,18	fitem,2,18
fitem,2,-19	fitem,2,-19
vsbv,p51x,23	vsbv,p51x,23
numcmp,all	numcmp,all
*dim,vsel1,array,23	*dim,vsel1,array,23
*vfill,vsel1(1),data,13,14,15,16,17,1,2,21,22,23	*vfill,vsel1(1),data,13,14,15,16,17,1,2,21,22,23
*vfill,vsel1(11),data,18,19,20,3,4,9,8,7,6,5	*vfill,vsel1(11),data,18,19,20,3,4,9,8,7,6,5
*vfill,vsel1(21),data,12,11,10	*vfill,vsel1(21),data,12,11,10
*dim,vatt_,array,23	*dim,vatt_,array,23
*vfill,vatt_(1),data,1,2,3,4,5,6,6,7,7,8	*vfill,vatt_(1),data,1,2,3,4,5,6,6,7,7,8
*vfill,vatt_(11),data,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18	*vfill,vatt_(11),data,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18
*vfill,vatt_(21),data,19,20,21	*vfill,vatt_(21),data,19,20,21
*do,i,1,23	*do,i,1,23
vsel,s,,,vsel1(i)	vsel,s,,,vsel1(i)
vatt,vatt_(i),,1,0	vatt,vatt_(i),,1,0
*enddo	*enddo
vsel,all	vsel,all
*set,vsel1	*set,vsel1
*set,vatt_	*set,vatt_
*dim,vsel2,array,70	*dim,vsel2,array,70
*vfill,vsel2(1),data,6,17,36,48,60,72,84,96,107,108	*vfill,vsel2(1),data,6,17,36,48,60,72,84,96,107,108
*vfill,vsel2(11),data,132,143,156,168,180,192,204,222,234,246	*vfill,vsel2(11),data,132,143,156,168,180,192,204,222,234,246
*vfill,vsel2(21),data,258,47,59,71,83,120,144,294,213,214	*vfill,vsel2(21),data,258,47,59,71,83,120,144,294,213,214
*vfill,vsel2(31),data,131,288,291,95,257,119,5,40,52,155	*vfill,vsel2(31),data,131,288,291,95,257,119,5,40,52,155
*vfill,vsel2(41),data,167,179,191,233,245,274,281,64,76,88	*vfill,vsel2(41),data,167,179,191,233,245,274,281,64,76,88
*vfill,vsel2(51),data,100,112,10,18,35,124,136,148,160,172	*vfill,vsel2(51),data,100,112,10,18,35,124,136,148,160,172



Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
*vfill,vsel2(61),data,184,196,203,208,215,216,226,238,250,262	*vfill,vsel2(61),data,184,196,203,208,215,216,226,238,250,262
*dim,lesize1,array,70	*dim,lesize1,array,70
*vfill,lesize1(1),data,3,3,3,3,3,3,3,3,3	*vfill,lesize1(1),data,3,3,3,3,3,3,3,3,3
*vfill,lesize1(11),data,3,3,3,3,3,3,3,3,3	*vfill,lesize1(11),data,3,3,3,3,3,3,3,3,3
*vfill,lesize1(21),data,3,4,4,4,4,4,4,5,5	*vfill,lesize1(21),data,3,4,4,4,4,4,4,5,5
*vfill,lesize1(31),data,8,9,9,10,12,13,15,15,15,15	*vfill,lesize1(31),data,8,9,9,10,12,13,15,15,15,15
*vfill,lesize1(41),data,15,15,15,15,15,15,15,21,21,21	*vfill,lesize1(41),data,15,15,15,15,15,15,15,21,21,21
*vfill,lesize1(51),data,21,21,30,30,30,30,30,30,30,30	*vfill,lesize1(51),data,21,21,30,30,30,30,30,30,30,30
*vfill,lesize1(61),data,30,30,30,30,30,30,30,30,30,30	*vfill,lesize1(61),data,30,30,30,30,30,30,30,30,30,30
*do,i,1,70	*do,i,1,70
lesize,vsel2(i),,,lesize1(i),,,,,1	lesize,vsel2(i),,,lesize1(i),,,,,1
*enddo	*enddo
vsweep,all	vsweep,all
*set,vsel2	*set,vsel2
*set,lesize1	*set,lesize1
! создание контактных пар	! создание контактных пар
*dim,mu_1,array,50	*dim,mu_1,array,50
*vfill,mu_1(1),data,1,2,3,5,6,6,12,13,14,15	*vfill,mu_1(1),data,1,2,3,5,6,6,12,13,14,15
*vfill,mu_1(11),data,16,17,18,19,20,21,6,6,12,13	*vfill,mu_1(11),data,16,17,18,19,20,21,6,6,12,13
*vfill,mu_1(21),data,14,15,16,17,18,19,20,21,8,8	*vfill,mu_1(21),data,14,15,16,17,18,19,20,21,8,8
*vfill,mu_1(31),data,8,9,11,5,20,20,12,13,14,15	*vfill,mu_1(31),data,8,9,11,5,20,20,12,13,14,15
*vfill,mu_1(41),data,16,17,18,13,13,15,15,17,17,14	*vfill,mu_1(41),data,16,17,18,13,13,15,15,17,17,14
*dim,mat_1,array,50	*dim,mat_1,array,50
*vfill,mat_1(1),data,1,2,3,5,6,6,12,13,14,15	*vfill,mat_1(1),data,1,2,3,5,6,6,12,13,14,15
*vfill,mat_1(11),data,16,17,18,19,20,21,6,6,12,13	*vfill,mat_1(11),data,16,17,18,19,20,21,6,6,12,13
*vfill,mat_1(21),data,14,15,16,17,18,19,20,21,8,8	*vfill,mat_1(21),data,14,15,16,17,18,19,20,21,8,8
*vfill,mat_1(31),data,8,9,11,5,20,20,12,13,14,15	*vfill,mat_1(31),data,8,9,11,5,20,20,12,13,14,15
*vfill,mat_1(41),data,16,17,18,13,13,15,15,17,17,14	*vfill,mat_1(41),data,16,17,18,13,13,15,15,17,17,14
*dim,asel_1,array,50	*dim,asel_1,array,50
*vfill,asel_1(1),data,83,89,90,96,102,102,102,102,102,102	*vfill,asel_1(1),data,83,89,90,96,102,102,102,102,102,102
*vfill,asel_1(11),data,102,102,102,102,102,102,130,135,135,135	*vfill,asel_1(11),data,102,102,102,102,102,102,130,135,135,135
*vfill,asel_1(21),data,135,135,135,135,135,135,135,135,131,136	*vfill,asel_1(21),data,135,135,135,135,135,135,135,135,131,136
*vfill,asel_1(31),data,112,118,119,135,73,62,12,12,9,9	*vfill,asel_1(31),data,112,118,119,135,73,62,12,12,9,9
*vfill,asel_1(41),data,9,9,9,19,56,55,44,43,32,10	*vfill,asel_1(41),data,9,9,9,19,56,55,44,43,32,10
*dim,asel_2,array,50	*dim,asel_2,array,50
*vfill,asel_2(1),data,78,84,95,101,3,14,17,23,53,47	*vfill,asel_2(1),data,78,84,95,101,3,14,17,23,53,47
*vfill,asel_2(11),data,41,35,29,71,65,59,4,13,18,24	*vfill,asel_2(11),data,41,35,29,71,65,59,4,13,18,24
*vfill,asel_2(21),data,54,48,42,36,30,72,66,60,140,141	*vfill,asel_2(21),data,54,48,42,36,30,72,66,60,140,141
*vfill,asel_2(31),data,107,113,124,102,68,67,15,21,51,45	*vfill,asel_2(31),data,107,113,124,102,68,67,15,21,51,45
*vfill,asel_2(41),data,39,33,27,26,25,50,49,38,37,56	*vfill,asel_2(41),data,39,33,27,26,25,50,49,38,37,56
*do,i,1,50	*do,i,1,50
*if,i,eq,28,then	*if,i,eq,28,then
j=0	j=0
*elseif,i,eq,34,then	*elseif,i,eq,34,then
j=0	j=0
*else	*else
j=1	j=1
*endif	*endif
mp,mu,mu_1(i),0.3	mp,mu,mu_1(i),0.3
mat,mat_1(i)	mat,mat_1(i)
r,i+2	r,i+2
real,i+2	real,i+2
et,2*i,170	et,2*i,170
et,2*i+1,174	et,2*i+1,174
keyopt,2*i+1,5,j	keyopt,2*i+1,5,j
keyopt,2*i+1,10,2	keyopt,2*i+1,10,2

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
asel,s,,,asel_1(i)	asel,s,,,asel_1(i)
type,2*i	type,2*i
nsla,s,1	nsla,s,1
esln,s,0	esln,s,0
esll,u	esll,u
esel,u,ename,,188,189	esel,u,ename,,188,189
esurf	esurf
asel,s,,,asel_2(i)	asel,s,,,asel_2(i)
type,2*i+1	type,2*i+1
nsla,s,1	nsla,s,1
esln,s,0	esln,s,0
esurf	esurf
allsel	allsel
*enddo	*enddo
*set,mu_1	*set,mu_1
*set,mat_1	*set,mat_1
*set,asel_1	*set,asel_1
*set,asel_2	*set,asel_2
finish	finish
/sol	/sol
*dim,da_1,array,52	*dim,da_1,array,52
*vfill,da_1(1),data,77,2,58,64,70,76,82,88,94,100	*vfill,da_1(1),data,77,2,58,64,70,76,82,88,94,100
*vfill,da_1(11),data,111,117,123,134,139,144,1,7,75,81	*vfill,da_1(11),data,111,117,123,134,139,144,1,7,75,81
*vfill,da_1(21),data,87,93,99,110,116,122,133,138,143,5	*vfill,da_1(21),data,87,93,99,110,116,122,133,138,143,5
*vfill,da_1(31),data,79,85,91,97,103,105,108,114,120,126	*vfill,da_1(31),data,79,85,91,97,103,105,108,114,120,126
*vfill,da_1(41),data,8,20,80,86,92,98,104,106,109,115	*vfill,da_1(41),data,8,20,80,86,92,98,104,106,109,115
*vfill,da_1(51),data,121,127	*vfill,da_1(51),data,121,127
*do,i,1,52	*do,i,1,52
*if,i,eq,1,then	*if,i,eq,1,then
j='uy'	j='uy'
*elseif,i,le,29,then	*elseif,i,le,29,then
j='uz'	j='uz'
*else	*else
j='ux'	j='ux'
*endif	*endif
da,da_1(i),j,	da,da_1(i),j,
*enddo	*enddo
*set,da_1	*set,da_1
acel,0,9.81,0,	acel,0,9.81,0,
sfa,125,1,pres,2.2e6	sfa,125,1,pres,2.2e6
lswrite,1,	lswrite,1,
sfadele,125,1,pres	sfadele,125,1,pres
sfa,125,1,pres,12.769e6	sfa,125,1,pres,12.769e6
lswrite,2,	lswrite,2,
antype,0	antype,0
nlgeom,1	nlgeom,1
nropt,unsym	nropt,unsym
pstres,1	pstres,1
outres,all,all	outres,all,all
outpr,basic,last	outpr,basic,last
kbc,0	kbc,0
deltim,0.001,0.001,0.05	deltim,0.001,0.001,0.05
time,1	time,1
lssolve,1,2,1,	lssolve,1,2,1,

Log-файлы для определения эффективности использования тумб с распором в  
условиях шахты «Рассвет-1» (модель с лавой  $\Sigma_{\text{п}} = 15\text{м}$ )

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
/prep7	/prep7
et,1,solid45	et,1,solid45
*dim,ex_,array,21	*dim,ex_,array,21
*vfill,ex_(1),data,2.785e10,2.69e10,2.277e10,2.404e10, 2.262e10,4.2e8,1.851e10,2.277e10,2.833e10,2.256e10	*vfill,ex_(1),data,2.785e10,2.69e10,2.277e10,2.404e10, 2.262e10,4.2e8,1.851e10,2.277e10,2.833e10,2.256e10
*vfill,ex_(11),data,2.690e10,4.742e6,1.795e6,24.427e6, 11.135e6,11.189e6,1.990e6,10.643e6,943.260e6,146.889e6	*vfill,ex_(11),data,2.690e10,4.742e6,1.795e6,24.427e6, 11.135e6,11.189e6,1.990e6,10.643e6,943.260e6,146.889e6
*vfill,ex_(21),data,133.545e6	*vfill,ex_(21),data,269.365e6
*dim,prxy_,array,21	*dim,prxy_,array,21
*vfill,prxy_(1),data,0.14,0.24,0.395,0.255,0.263,0.08,0.372, 0.395,0.232,0.170	*vfill,prxy_(1),data,0.14,0.24,0.395,0.255,0.263,0.08,0.372, 0.395,0.232,0.170
*vfill,prxy_(11),data,0.240,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3	*vfill,prxy_(11),data,0.240,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3
*vfill,prxy_(21),data,0.3	*vfill,prxy_(21),data,0.3
*dim,dens_,array,21	*dim,dens_,array,21
*vfill,dens_(1),data,2.7325e3,2.7e3,2.615e3,2.7e3,2.7e3,1.52 e3,2.615e3,2.615e3,2.7e3,2.67e3	*vfill,dens_(1),data,2.7325e3,2.7e3,2.615e3,2.7e3,2.7e3,1.52 e3,2.615e3,2.615e3,2.7e3,2.67e3
*vfill,dens_(11),data,2.7e3,117.695,184.269,195.468,98.564, 282.736,322.41,271.757,171.111,78.912	*vfill,dens_(11),data,2.7e3,117.695,184.269,195.468,98.564, 282.736,322.41,271.757,171.111,78.912
*vfill,dens_(21),data,200.324	*vfill,dens_(21),data,417.672
*dim,coh,array,11	*dim,coh,array,11
*vfill,coh(1),data,12.5e6,15.51e6,18.63e6,14.27e6,13.65e6, 9.9e6,14.35e6,18.63e6,16.15e6,17e6	*vfill,coh(1),data,12.5e6,15.51e6,18.63e6,14.27e6,13.65e6, 9.9e6,14.35e6,18.63e6,16.15e6,17e6
*vfill,coh(11),data,15.51e6	*vfill,coh(11),data,15.51e6
*dim,afr,array,11	*dim,afr,array,11
*vfill,afr(1),data,45,38.98,42.66,35.16,32.74,38,43,42.66, 40.47,44.31	*vfill,afr(1),data,45,38.98,42.66,35.16,32.74,38,43,42.66, 40.47,44.31
*vfill,afr(11),data,38.98	*vfill,afr(11),data,38.98
*dim,adil,array,11	*dim,adil,array,11
*vfill,adil(1),data,45,38.98,42.66,35.16,32.74,28,43,42.66, 40.47,44.31	*vfill,adil(1),data,45,38.98,42.66,35.16,32.74,28,43,42.66, 40.47,44.31
*vfill,adil(11),data,38.98	*vfill,adil(11),data,38.98
*do,i,1,21	*do,i,1,21
mptemp,,,,,,,,	mptemp,,,,,,,,
mptemp,1,0	mptemp,1,0
mpdata,ex,i,,ex_(i)	mpdata,ex,i,,ex_(i)
mpdata,prxy,i,,prxy_(i)	mpdata,prxy,i,,prxy_(i)
mpdata,dens,i,,dens_(i)	mpdata,dens,i,,dens_(i)
*if,i,le,11,then	*if,i,le,11,then
tb,dp,i	tb,dp,i
tldata,1,coh(i),afr(i),adil(i)	tldata,1,coh(i),afr(i),adil(i)
*endif	*endif
*enddo	*enddo
*set,ex_	*set,ex_
*set,prxy_	*set,prxy_
*set,dens_	*set,dens_
*set,coh	*set,coh
*set,afr	*set,afr
*set,adil	*set,adil
block,0,30,30,30.73,0,-72.2,	block,0,30,30,30.73,0,-72.2,
block,34.52,64.52,30,30.73,-19.6,-72.2,	block,34.52,64.52,30,30.73,-19.6,-72.2,
block,34.52,39.52,30,30.73,-19.6,-22.2,	block,34.52,39.52,30,30.73,-19.6,-22.2,
vsbv,2,3	vsbv,2,3
numcmp,all	numcmp,all
block,40.42,64.52,30,30.73,-15,-19.6,	block,40.42,64.52,30,30.73,-15,-19.6,
block,39.52,40.42,30,30.73,-15,-19.6,	block,39.52,40.42,30,30.73,-15,-19.6,

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
block,34.52,35.42,30,30.73,-15.593,-22.2,	block,34.52,35.42,30,30.73,-15.593,-22.2,
vgen,3,5,,,0.9,,,0	vgen,3,5,,,0.9,,,0
block,37.22,39.115,30,30.73,-15.593,-22.2,	block,37.22,39.115,30,30.73,-15.593,-22.2,
block,39.115,39.52,30,30.73,-15.593,-22.2,	block,39.115,39.52,30,30.73,-15.593,-22.2,
block,34.52,36.973,30,30.585,0,-14.193,	block,34.52,36.973,30,30.73,0,-14.193,
block,36.973,38.898,30,30.73,0,-14.193,	block,36.973,38.898,30,30.73,0,-14.193,
block,38.898,39.52,30,30.73,0,-14.193,	block,38.898,39.52,30,30.73,0,-14.193,
block,0,64.52,0,10.365,0,-72.2,	block,0,64.52,0,10.365,0,-72.2,
block,0,64.52,10.365,23.40,0,-72.2,	block,0,64.52,10.365,23.40,0,-72.2,
block,0,64.52,23.40,27.90,0,-72.2,	block,0,64.52,23.40,27.90,0,-72.2,
block,0,64.52,27.90,29.40,0,-72.2,	block,0,64.52,27.90,29.40,0,-72.2,
block,0,64.52,29.40,30,0,-72.2,	block,0,64.52,29.40,30,0,-72.2,
block,0,64.52,30.73,32.73,0,-72.2,	block,0,64.52,30.73,32.73,0,-72.2,
block,0,64.52,32.73,43.73,0,-72.2,	block,0,64.52,32.73,43.73,0,-72.2,
block,0,64.52,43.73,45.33,0,-72.2,	block,0,64.52,43.73,45.33,0,-72.2,
block,0,64.52,45.33,47.03,0,-72.2,	block,0,64.52,45.33,47.03,0,-72.2,
block,0,64.52,47.03,63.36,0,-72.2,	block,0,64.52,47.03,63.36,0,-72.2,
k, ,30,30.73,0,	k, ,30,30.73,0,
k, ,30,31.1,0,	k, ,30,31.1,0,
k, ,34.52,30.73,0,	k, ,34.52,30.73,0,
k, ,34.52,31.1,0,	k, ,34.52,31.1,0,
k, ,32.26,33.355,0,	k, ,32.26,33.355,0,
lstr, 181, 182	lstr, 181, 182
lstr, 183, 184	lstr, 183, 184
larc, 182, 184, 185	larc, 182, 184, 185
lstr, 181, 183	lstr, 181, 183
al,271,273,272,274	al,271,273,272,274
vext,135, , ,0,0,-72.2,,,,	vext,135, , ,0,0,-72.2,,,,
flst,2,2,6,orde,2	flst,2,2,6,orde,2
fitem,2,18	fitem,2,18
fitem,2,-19	fitem,2,-19
vsbv,p51x,23	vsbv,p51x,23
numcmp,all	numcmp,all
*dim,vsel1,array,23	*dim,vsel1,array,23
*vfill,vsel1(1),data,13,14,15,16,17,1,2,21,22,23	*vfill,vsel1(1),data,13,14,15,16,17,1,2,21,22,23
*vfill,vsel1(11),data,18,19,20,3,4,9,8,7,6,5	*vfill,vsel1(11),data,18,19,20,3,4,9,8,7,6,5
*vfill,vsel1(21),data,12,11,10	*vfill,vsel1(21),data,12,11,10
*dim,vatt_,array,23	*dim,vatt_,array,23
*vfill,vatt_(1),data,1,2,3,4,5,6,6,7,7,8	*vfill,vatt_(1),data,1,2,3,4,5,6,6,7,7,8
*vfill,vatt_(11),data,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18	*vfill,vatt_(11),data,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18
*vfill,vatt_(21),data,19,20,21	*vfill,vatt_(21),data,19,20,21
*do,i,1,23	*do,i,1,23
vsel,s,,,vsel1(i)	vsel,s,,,vsel1(i)
vatt,vatt_(i),,1,0	vatt,vatt_(i),,1,0
*enddo	*enddo
vsel,all	vsel,all
*set,vsel1	*set,vsel1
*set,vatt_	*set,vatt_
*dim,vsel2,array,70	*dim,vsel2,array,70
*vfill,vsel2(1),data,6,17,36,48,60,72,84,96,107,108	*vfill,vsel2(1),data,6,17,36,48,60,72,84,96,107,108
*vfill,vsel2(11),data,132,143,156,168,180,192,204,222,234,246	*vfill,vsel2(11),data,132,143,156,168,180,192,204,222,234,246
*vfill,vsel2(21),data,258,47,59,71,83,120,144,294,213,214	*vfill,vsel2(21),data,258,47,59,71,83,120,144,294,213,214
*vfill,vsel2(31),data,131,288,291,95,257,119,5,40,52,155	*vfill,vsel2(31),data,131,288,291,95,257,119,5,40,52,155
*vfill,vsel2(41),data,167,179,191,233,245,274,281,64,76,88	*vfill,vsel2(41),data,167,179,191,233,245,274,281,64,76,88
*vfill,vsel2(51),data,100,112,10,18,35,124,136,148,160,172	*vfill,vsel2(51),data,100,112,10,18,35,124,136,148,160,172
*vfill,vsel2(61),data,184,196,203,208,215,216,226,238,250,262	*vfill,vsel2(61),data,184,196,203,208,215,216,226,238,250,262
*dim,lesize1,array,70	*dim,lesize1,array,70

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
*vfill,lesize1(1),data,3,3,3,3,3,3,3,3,3	*vfill,lesize1(1),data,3,3,3,3,3,3,3,3,3
*vfill,lesize1(11),data,3,3,3,3,3,3,3,3,3	*vfill,lesize1(11),data,3,3,3,3,3,3,3,3,3
*vfill,lesize1(21),data,3,4,4,4,4,4,4,5,5	*vfill,lesize1(21),data,3,4,4,4,4,4,4,5,5
*vfill,lesize1(31),data,8,9,9,10,12,13,15,15,15,15	*vfill,lesize1(31),data,8,9,9,10,12,13,15,15,15,15
*vfill,lesize1(41),data,15,15,15,15,15,15,15,21,21,21	*vfill,lesize1(41),data,15,15,15,15,15,15,15,21,21,21
*vfill,lesize1(51),data,21,21,30,30,30,30,30,30,30,30	*vfill,lesize1(51),data,21,21,30,30,30,30,30,30,30,30
*vfill,lesize1(61),data,30,30,30,30,30,30,30,30,30,30	*vfill,lesize1(61),data,30,30,30,30,30,30,30,30,30,30
*do,i,1,70	*do,i,1,70
lesize,vsel2(i),,,lesize1(i),,,,,,1	lesize,vsel2(i),,,lesize1(i),,,,,,1
*enddo	*enddo
vsweep,all	vsweep,all
*set,vsel2	*set,vsel2
*set,lesize1	*set,lesize1
! создание контактных пар	! создание контактных пар
*dim,mu_1,array,50	*dim,mu_1,array,50
*vfill,mu_1(1),data,1,2,3,5,6,6,12,13,14,15	*vfill,mu_1(1),data,1,2,3,5,6,6,12,13,14,15
*vfill,mu_1(11),data,16,17,18,19,20,21,6,6,12,13	*vfill,mu_1(11),data,16,17,18,19,20,21,6,6,12,13
*vfill,mu_1(21),data,14,15,16,17,18,19,20,21,8,8	*vfill,mu_1(21),data,14,15,16,17,18,19,20,21,8,8
*vfill,mu_1(31),data,8,9,11,5,20,20,12,13,14,15	*vfill,mu_1(31),data,8,9,11,5,20,20,12,13,14,15
*vfill,mu_1(41),data,16,17,18,13,13,15,15,17,17,14	*vfill,mu_1(41),data,16,17,18,13,13,15,15,17,17,14
*dim,mat_1,array,50	*dim,mat_1,array,50
*vfill,mat_1(1),data,1,2,3,5,6,6,12,13,14,15	*vfill,mat_1(1),data,1,2,3,5,6,6,12,13,14,15
*vfill,mat_1(11),data,16,17,18,19,20,21,6,6,12,13	*vfill,mat_1(11),data,16,17,18,19,20,21,6,6,12,13
*vfill,mat_1(21),data,14,15,16,17,18,19,20,21,8,8	*vfill,mat_1(21),data,14,15,16,17,18,19,20,21,8,8
*vfill,mat_1(31),data,8,9,11,5,20,20,12,13,14,15	*vfill,mat_1(31),data,8,9,11,5,20,20,12,13,14,15
*vfill,mat_1(41),data,16,17,18,13,13,15,15,17,17,14	*vfill,mat_1(41),data,16,17,18,13,13,15,15,17,17,14
*dim,asel_1,array,50	*dim,asel_1,array,50
*vfill,asel_1(1),data,83,89,90,96,102,102,102,102,102,102	*vfill,asel_1(1),data,83,89,90,96,102,102,102,102,102,102
*vfill,asel_1(11),data,102,102,102,102,102,102,130,135,135,135	*vfill,asel_1(11),data,102,102,102,102,102,102,130,135,135,135
*vfill,asel_1(21),data,135,135,135,135,135,135,135,135,131,136	*vfill,asel_1(21),data,135,135,135,135,135,135,135,135,131,136
*vfill,asel_1(31),data,112,118,119,135,73,62,12,12,9,9	*vfill,asel_1(31),data,112,118,119,135,73,62,12,12,9,9
*vfill,asel_1(41),data,9,9,9,19,56,55,44,43,32,10	*vfill,asel_1(41),data,9,9,9,19,56,55,44,43,32,10
*dim,asel_2,array,50	*dim,asel_2,array,50
*vfill,asel_2(1),data,78,84,95,101,3,14,17,23,53,47	*vfill,asel_2(1),data,78,84,95,101,3,14,17,23,53,47
*vfill,asel_2(11),data,41,35,29,71,65,59,4,13,18,24	*vfill,asel_2(11),data,41,35,29,71,65,59,4,13,18,24
*vfill,asel_2(21),data,54,48,42,36,30,72,66,60,140,141	*vfill,asel_2(21),data,54,48,42,36,30,72,66,60,140,141
*vfill,asel_2(31),data,107,113,124,102,68,67,15,21,51,45	*vfill,asel_2(31),data,107,113,124,102,68,67,15,21,51,45
*vfill,asel_2(41),data,39,33,27,26,25,50,49,38,37,56	*vfill,asel_2(41),data,39,33,27,26,25,50,49,38,37,56
*do,i,1,50	*do,i,1,50
*if,i,eq,28,then	*if,i,eq,28,then
j=0	j=0
*elseif,i,eq,34,then	*elseif,i,eq,34,then
j=0	j=0
*else	*else
j=1	j=1
*endif	*endif
mp,mu,mu_1(i),0.3	mp,mu,mu_1(i),0.3
mat,mat_1(i)	mat,mat_1(i)
r,i+2	r,i+2
real,i+2	real,i+2
et,2*i,170	et,2*i,170
et,2*i+1,174	et,2*i+1,174
keyopt,2*i+1,5,j	keyopt,2*i+1,5,j
keyopt,2*i+1,10,2	keyopt,2*i+1,10,2
asel,s,,,asel_1(i)	asel,s,,,asel_1(i)
type,2*i	type,2*i
nsla,s,1	nsla,s,1

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
esln,s,0	esln,s,0
esll,u	esll,u
esel,u,ename,,188,189	esel,u,ename,,188,189
esurf	esurf
asel,s,,,asel_2(i)	asel,s,,,asel_2(i)
type,2*i+1	type,2*i+1
nsla,s,1	nsla,s,1
esln,s,0	esln,s,0
esurf	esurf
allsel	allsel
*enddo	*enddo
*set,mu_1	*set,mu_1
*set,mat_1	*set,mat_1
*set,asel_1	*set,asel_1
*set,asel_2	*set,asel_2
finish	finish
/sol	/sol
*dim,da_1,array,52	*dim,da_1,array,52
*vfill,da_1(1),data,77,2,58,64,70,76,82,88,94,100	*vfill,da_1(1),data,77,2,58,64,70,76,82,88,94,100
*vfill,da_1(11),data,111,117,123,134,139,144,1,7,75,81	*vfill,da_1(11),data,111,117,123,134,139,144,1,7,75,81
*vfill,da_1(21),data,87,93,99,110,116,122,133,138,143,5	*vfill,da_1(21),data,87,93,99,110,116,122,133,138,143,5
*vfill,da_1(31),data,79,85,91,97,103,105,108,114,120,126	*vfill,da_1(31),data,79,85,91,97,103,105,108,114,120,126
*vfill,da_1(41),data,8,20,80,86,92,98,104,106,109,115	*vfill,da_1(41),data,8,20,80,86,92,98,104,106,109,115
*vfill,da_1(51),data,121,127	*vfill,da_1(51),data,121,127
*do,i,1,52	*do,i,1,52
*if,i,eq,1,then	*if,i,eq,1,then
j='uy'	j='uy'
*elseif,i,le,29,then	*elseif,i,le,29,then
j='uz'	j='uz'
*else	*else
j='ux'	j='ux'
*endif	*endif
da,da_1(i),j,	da,da_1(i),j,
*enddo	*enddo
*set,da_1	*set,da_1
acel,0,9.81,0,	acel,0,9.81,0,
sfa,125,1,pres,2.2e6	sfa,125,1,pres,2.2e6
lswrite,1,	lswrite,1,
sfadele,125,1,pres	sfadele,125,1,pres
sfa,125,1,pres,12.769e6	sfa,125,1,pres,12.769e6
lswrite,2,	lswrite,2,
antype,0	antype,0
nlgeom,1	nlgeom,1
nropt,unsym	nropt,unsym
pstres,1	pstres,1
outres,all,all	outres,all,all
outpr,basic,last	outpr,basic,last
kbc,0	kbc,0
deltim,0.001,0.001,0.05	deltim,0.001,0.001,0.05
time,1	time,1
lssolve,1,2,1,	lssolve,1,2,1,

## ПРИЛОЖЕНИЕ Р

## Р.1 Затраты на материалы

## Р.1.1 Предлагаемый вариант

Удельная стоимость оболочек на 1м выработки при шаге установки опалубок  $L_{оп} = 0,875м$ , стоимости оболочки  $C_{об} = 5 \frac{грн}{шт}$  (цена в феврале 2013 года), количестве рядов опалубок  $n_{ряд}^{оп} = 1шт$

$$C_{уд}^{об} = \frac{1м}{L_{оп}} \cdot C_{об} \cdot n_{ряд}^{оп} = \frac{1м}{0,875} \cdot 5 \cdot 1 = 5,71 \frac{грн}{м} \quad (P.1)$$

Диаметр оболочки до расширения смеси при коэффициенте расширения смеси в радиальном направлении  $k_p^{рад} = 1,1$  [178], диаметре опалубки  $D_{оп} = 0,75м$

$$D_{об} = D_{оп} - (k_p^{рад} - 1) \cdot D_{оп} = 0,75 - (1,1 - 1) \cdot 0,75 = 0,68м \quad (P.2)$$

Объем трубки со смесью при мощности пласта  $m = 0,73м$ , диаметре трубки  $d_{тр} = 0,16м$  (раздел 3)

$$V_{тр} = \frac{\pi \cdot d_{тр}^2}{4} \cdot m = \frac{\pi \cdot 0,16^2}{4} \cdot 0,73 = 0,0147м^3 \quad (P.3)$$

Объем оболочки до расширения смеси

$$V_{об}^{до} = V_{тр} \quad (P.4)$$

Высота оболочки до расширения смеси

$$H_{об}^{до} = \frac{4 \cdot V_{об}^{до}}{\pi \cdot D_{об}^2} = \frac{4 \cdot 0,0147}{\pi \cdot 0,68^2} = 0,04м \quad (P.5)$$

Высота оболочки после расширения смеси при коэффициенте расширения в вертикальном направлении  $k_p^{верт} = 1,6$  [178]

$$H_{об}^{после} = k_p^{верт} \cdot H_{об}^{до} = 1,6 \cdot 0,04 = 0,07м \quad (P.6)$$

Объем оболочки расширения смеси

$$V_{об}^{после} = \frac{\pi \cdot D_{оп}^2}{4} \cdot H_{об}^{после} = \frac{\pi \cdot 0,75^2}{4} \cdot 0,07 = 0,0290м^3 \quad (P.7)$$

Высота опалубки

$$H_{оп} = m - H_{об}^{после} = 0,73 - 0,07 = 0,66м \quad (P.8)$$

Всего частей в смеси при количестве частей НРВ в смеси  $n_{\text{частей}}^{\text{НРВ}} = 9$ , количестве частей ПЦШБ  $n_{\text{частей}}^{\text{ПЦШБ}} = 3$ , количестве частей воды  $n_{\text{частей}}^{\text{ВОДЫ}} = 4$  [178, 224]

$$n_{\text{частей}}^{\text{всего}} = n_{\text{частей}}^{\text{НРВ}} + n_{\text{частей}}^{\text{ПЦШБ}} + n_{\text{частей}}^{\text{ВОДЫ}} = 9 + 3 + 4 = 16 \quad (\text{P.9})$$

Масса НРВ на 1 оболочку при плотности НРВ  $\rho_{\text{НРВ}} = 1250 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  [225]

$$m_{\text{НРВ}}^{\text{1об}} = \frac{n_{\text{частей}}^{\text{НРВ}}}{n_{\text{частей}}^{\text{всего}}} \cdot V_{\text{об}}^{\text{ДО}} \cdot \rho_{\text{НРВ}} = \frac{9}{16} \cdot 0,0147 \cdot 1250 = 10,32 \text{кг} \quad (\text{P.10})$$

Масса ПЦШБ на 1 оболочку при плотности ПЦШБ  $\rho_{\text{ПЦШБ}} = 1100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  [226]

$$m_{\text{ПЦШБ}}^{\text{1об}} = \frac{n_{\text{частей}}^{\text{ПЦШБ}}}{n_{\text{частей}}^{\text{всего}}} \cdot V_{\text{об}}^{\text{ДО}} \cdot \rho_{\text{ПЦШБ}} = \frac{3}{16} \cdot 0,0147 \cdot 1100 = 3,03 \text{кг} \quad (\text{P.11})$$

Масса воды на 1 оболочку при плотности воды  $\rho_{\text{ВОДЫ}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$m_{\text{ВОДЫ}}^{\text{1об}} = \frac{n_{\text{частей}}^{\text{ВОДЫ}}}{n_{\text{частей}}^{\text{всего}}} \cdot V_{\text{об}}^{\text{ДО}} \cdot \rho_{\text{ВОДЫ}} = \frac{4}{16} \cdot 0,0147 \cdot 1000 = 3,67 \text{кг} \quad (\text{P.12})$$

Масса НРВ на 1м выработки

$$m_{\text{НРВ}}^{\text{1м}} = \frac{1}{L_{\text{оп}}} \cdot m_{\text{НРВ}}^{\text{1об}} = \frac{1}{0,875} \cdot 10,32 = 11,79 \text{кг} \quad (\text{P.13})$$

Масса ПЦШБ на 1м выработки

$$m_{\text{ПЦШБ}}^{\text{1м}} = \frac{1}{L_{\text{оп}}} \cdot m_{\text{ПЦШБ}}^{\text{1об}} = \frac{1}{0,875} \cdot 3,03 = 3,46 \text{кг} \quad (\text{P.14})$$

Масса воды на 1м выработки

$$m_{\text{ВОДЫ}}^{\text{1м}} = \frac{1}{L_{\text{оп}}} \cdot m_{\text{ВОДЫ}}^{\text{1об}} = \frac{1}{0,875} \cdot 3,67 = 4,19 \text{кг} \quad (\text{P.15})$$

Удельная стоимость НРВ на 1м выработки при стоимости НРВ  $C_{\text{НРВ}} = 5 \frac{\text{грн}}{\text{кг}}$  (цена в феврале 2013 года)

$$C_{\text{уд}}^{\text{НРВ}} = C_{\text{НРВ}} \cdot m_{\text{НРВ}}^{\text{1м}} \cdot n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} = 5 \cdot 11,79 \cdot 1 = 58,97 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{P.16})$$

Удельная стоимость ПЦШБ на 1м выработки при стоимости ПЦШБ  $C_{\text{ПЦШБ}} = 0,98 \frac{\text{грн}}{\text{кг}}$  (цена в феврале 2013 года)

$$C_{\text{уд}}^{\text{ПЦШБ}} = C_{\text{ПЦШБ}} \cdot m_{\text{ПЦШБ}}^{\text{1м}} \cdot n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} = 0,98 \cdot 3,46 \cdot 1 = 3,39 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{P.17})$$

Удельная стоимость всех материалов на 1м выработки

$$C_{\text{уд}}^{\text{материалов}} = C_{\text{уд}}^{\text{об}} + C_{\text{уд}}^{\text{НРВ}} + C_{\text{уд}}^{\text{ПЦШБ}} = 5,91 + 58,97 + 3,39 = 68,08 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{P.18})$$



## Р.1.2 Шахтный вариант

Количество метров выработки, занятой тумбами при ширине блока БЖБТ-7  $b_{\text{блока}}^{\text{БЖБТ-7}} = 0,4\text{м}$ , количестве рядов блоков вдоль выработки  $n_{\text{рядов}}^{\text{БЖБТ-7}} = 2\text{шт}$

$$n_{\text{м}}^{\text{БЖБТ-7}} = n_{\text{рядов}}^{\text{БЖБТ-7}} \cdot b_{\text{блока}}^{\text{БЖБТ-7}} = 2 \cdot 0,4 = 0,8\text{м} \quad (\text{Р.19})$$

Количество тумб БЖБТ-7 на  $n_{\text{м}}^{\text{БЖБТ-7}} = 0,8\text{м}$  при количестве рядов блоков вдоль выработки  $n_{\text{рядов}}^{\text{БЖБТ-7}} = 2\text{шт}$  -  $n_{\text{БЖБТ-7}}^{\dots\text{м}} = 4\text{шт}$

Количество блоков в 1шт БЖБТ-7 при толщине блока БЖБТ-7  $h_{\text{блока}}^{\text{БЖБТ-7}} = 0,15\text{м}$  по мощности пласта

$$n_{\text{блоков БЖБТ-7}}^{1\text{тумба}} = \frac{m}{h_{\text{блока}}^{\text{БЖБТ-7}}} = \frac{0,73}{0,15} = 5\text{шт} \quad (\text{Р.20})$$

Количество блоков БЖБТ-7 на  $n_{\text{м}}^{\text{БЖБТ-7}} = 0,8\text{м}$

$$n_{\text{блоков БЖБТ-7}}^{\dots\text{рядах}} = n_{\text{БЖБТ-7}}^{\dots\text{м}} \cdot n_{\text{блоков БЖБТ-7}}^{1\text{тумба}} = 4 \cdot 5 = 20\text{шт} \quad (\text{Р.21})$$

Количество блоков БЖБТ-7 на 1м выработки

$$n_{\text{блоков БЖБТ-7}}^{1\text{м}} = \frac{1}{n_{\text{м}}^{\text{БЖБТ-7}}} \cdot n_{\text{блоков БЖБТ-7}}^{\dots\text{рядах}} = \frac{1}{0,8} \cdot 20 = 25\text{шт} \quad (\text{Р.22})$$

Удельная стоимость тумб БЖБТ-7 на 1м выработки при стоимости блока  $C_{\text{блока}}^{\text{БЖБТ-7}} = 28,35 \frac{\text{грн}}{\text{шт}}$  (цена в феврале 2013 года)

$$C_{\text{уд}}^{\text{материалов БЖБТ-7}} = n_{\text{блоков БЖБТ-7}}^{1\text{м}} \cdot C_{\text{блока}}^{\text{БЖБТ-7}} = 25 \cdot 28,35 = 708,75 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{Р.23})$$

Экономия на стоимости материалов на 1м выработки

$$I_{\text{уд}}^{\text{материалов}} = C_{\text{уд}}^{\text{материалов БЖБТ-7}} - C_{\text{уд}}^{\text{материалов}} = 708,75 - 68,08 = 640,67 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{Р.24})$$

## Р.2 Затраты на оплату труда

## Р.2.1 Предлагаемый вариант

Объем породы на 1 опалубку

$$V_{\text{пор}}^{1\text{оп}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{оп}}^2}{4} \cdot H_{\text{оп}} = \frac{\pi \cdot 0,75^2}{4} \cdot 0,68 = 0,294\text{м}^3 \quad (\text{Р.25})$$

Объем породы на 1м выработки

$$V_{\text{пор}}^{1\text{м}} = \frac{1}{L_{\text{оп}}} \cdot V_{\text{пор}}^{1\text{оп}} = \frac{1}{0,875} \cdot 0,294 = 0,335\text{м}^3 \quad (\text{P.26})$$

Норма выработки на выкладку бутовой полосы расчетная при норме выработки по сборнику  $N_{\text{выр}}^{\text{пор}} = 6,05 \frac{\text{м}^3}{\text{чел} \cdot \text{цикл}}$ ,  $k_1^{\text{пор}} = 0,85$ ,  $k_2^{\text{пор}} = 0,7$  [227]

$$N_{\text{выр расч}}^{\text{пор}} = k_1^{\text{пор}} \cdot k_2^{\text{пор}} \cdot N_{\text{выр}}^{\text{пор}} = 0,85 \cdot 0,7 \cdot 6,05 = 3,60 \frac{\text{м}^3}{\text{чел} \cdot \text{цикл}} \quad (\text{P.27})$$

Трудоемкость на выкладку бутовой полосы

$$T_{\text{рпор}} = \frac{V_{\text{пор}}^{1\text{м}}}{N_{\text{выр расч}}^{\text{пор}}} = \frac{0,335}{3,60} = 0,093 \frac{\text{чел}}{\text{цикл}} \quad (\text{P.28})$$

Удельная стоимость на закладку породы в опалубку на 1м выработки при тарифной ставке ГРОЗа IV разряда  $T_{\text{ст}} = 172,8 \frac{\text{грн}}{\text{цикл}}$  (цена в феврале 2013 года)

$$C_{\text{уд}}^{\text{пор}} = T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{рпор}} \cdot n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} = 172,8 \cdot 0,093 \cdot 1 = 16,10 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{P.29})$$

Объем смеси на 1 оболочку (см. выше)

$$V_{\text{смеси}}^{1\text{об}} = V_{\text{об}}^{\text{до}} = 0,0147\text{м}^3 \quad (\text{P.30})$$

Объем смеси на 1м выработки

$$V_{\text{смеси}}^{1\text{м}} = \frac{1}{L_{\text{оп}}} \cdot V_{\text{смеси}}^{1\text{об}} = \frac{1}{0,875} \cdot 0,0147 = 0,017\text{м}^3 \quad (\text{P.31})$$

Норма выработки расчетная на приготовление смеси при норме выработки по сборнику  $N_{\text{выр}}^{\text{приг.смеси}} = 2,7 \frac{\text{м}^3}{\text{цикл}}$ ,  $k_1^{\text{приг.смеси}} = 0,6$  [227]

$$N_{\text{выр расч}}^{\text{приг.смеси}} = k_1^{\text{приг.смеси}} \cdot N_{\text{выр}}^{\text{приг.смеси}} = 0,6 \cdot 2,7 = 1,62 \frac{\text{м}^3}{\text{чел} \cdot \text{цикл}} \quad (\text{P.32})$$

Трудоемкость приготовления смеси

$$T_{\text{рприг.смеси}} = \frac{V_{\text{смеси}}^{1\text{м}}}{N_{\text{выр расч}}^{\text{приг.смеси}}} = \frac{0,017}{1,62} = 0,010 \frac{\text{чел}}{\text{цикл}} \quad (\text{P.33})$$

Удельная стоимость приготовления смеси на 1м выработки

$$C_{\text{уд}}^{\text{приг.смеси}} = T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{рприг.смеси}} \cdot n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} = 172,8 \cdot 0,010 \cdot 1 = 1,79 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{P.34})$$

Норма выработки на заливку смеси и герметизацию оболочки расчетная при норме по сборнику  $N_{\text{выр}}^{\text{залив.смеси}} = 1,68 \frac{\text{м}^3}{\text{чел} \cdot \text{цикл}}$  [227]

$$N_{\text{выр расч}}^{\text{залив.смеси}} = N_{\text{выр}}^{\text{залив.смеси}} = 1,68 \frac{\text{м}^3}{\text{чел} \cdot \text{цикл}} \quad (\text{P.35})$$

Трудоемкость заливки смеси и герметизации оболочки

$$T_{\text{рзалив.смеси}} = \frac{V_{\text{смеси}}^{1\text{м}}}{H_{\text{выр расч}}^{\text{залив.смеси}}} = \frac{0,017}{1,68} = 0,010 \frac{\text{чел}}{\text{цикл}} \quad (\text{P.36})$$

Удельная стоимость заливки смеси и герметизации оболочки на 1м выработки

$$C_{\text{уд}}^{\text{залив.смеси}} = T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{рзалив.смеси}} \cdot n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} = 172,8 \cdot 0,010 \cdot 1 = 1,73 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{P.37})$$

Удельная стоимость всех видов работ на 1м выработки

$$C_{\text{уд}}^{\text{работы}} = C_{\text{уд}}^{\text{пор}} + C_{\text{уд}}^{\text{приг.смеси}} + C_{\text{уд}}^{\text{залив.смеси}} = 16,10 + 1,79 + 1,73 = 19,62 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{P.38})$$

Удельная стоимость всех материалов и всех видов работ на 1м выработки

$$C_{\text{уд}}^{\text{материалов+работы}} = C_{\text{уд}}^{\text{материалов}} + C_{\text{уд}}^{\text{работы}} = 68,08 + 19,62 = 87,69 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{P.39})$$

## Р.2.2 Шахтный вариант

Количество тумб БЖБТ-7 на 1м выработки

$$n_{\text{БЖБТ-7}}^{1\text{м}} = \frac{1}{n_{\text{БЖБТ-7}}^{\text{м}}} \cdot n_{\text{БЖБТ-7}}^{\text{м}} = \frac{1}{0,8} \cdot 4 = 5 \text{шт} \quad (\text{P.40})$$

Трудоемкость выкладки БЖБТ-7 при норме выработки расчетной  $H_{\text{выр}}^{\text{БЖБТ-7}} = 6,48 \frac{\text{шт}\cdot\text{чел}}{\text{цикл}}$

$$T_{\text{рБЖБТ-7}} = \frac{n_{\text{БЖБТ-7}}^{1\text{м}}}{H_{\text{выр}}^{\text{БЖБТ-7}}} = \frac{5}{6,48} = 0,772 \frac{\text{чел}}{\text{цикл}} \quad (\text{P.41})$$

Удельная стоимость выкладки БЖБТ-7 на 1м выработки

$$C_{\text{уд}}^{\text{работы БЖБТ-7}} = T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{рБЖБТ-7}} = 172,8 \cdot 0,772 = 133,33 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{P.42})$$

Удельная стоимость всех материалов и видов работ на 1м выработки

$$\begin{aligned} C_{\text{уд}}^{\text{материалов+работы БЖБТ-7}} &= C_{\text{уд}}^{\text{материалов БЖБТ-7}} + C_{\text{уд}}^{\text{работы БЖБТ-7}} = \\ &= 708,75 + 133,33 = 842,08 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{P.43}) \end{aligned}$$

Экономия на стоимости работ на 1м выработки

$$I_{\text{уд}}^{\text{работ}} = C_{\text{уд}}^{\text{работы}} - C_{\text{уд}}^{\text{работы БЖБТ-7}} = 133,33 - 19,62 = 113,72 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{P.44})$$

Экономия на стоимости материалов работ на 1м выработки

$$I_{\text{уд}}^{\text{материалов+работ}} = I_{\text{уд}}^{\text{материалов}} + I_{\text{уд}}^{\text{работ}} = 640,67 + 113,72 = 754,39 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{P.45})$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ С

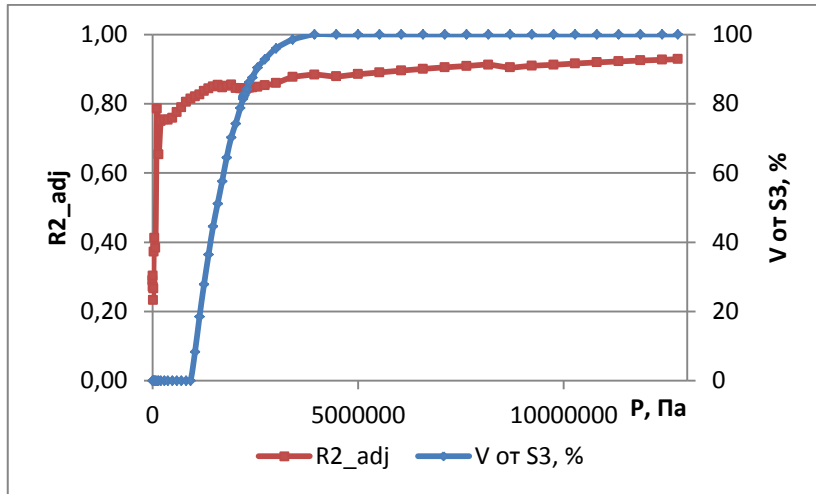


Рисунок С.1 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 1 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (шахтный вариант)

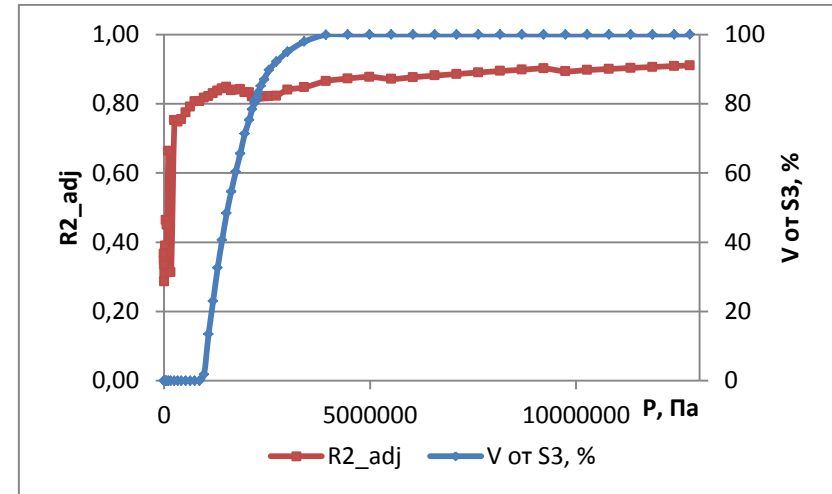


Рисунок С.2 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 1 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (предлагаемый вариант)

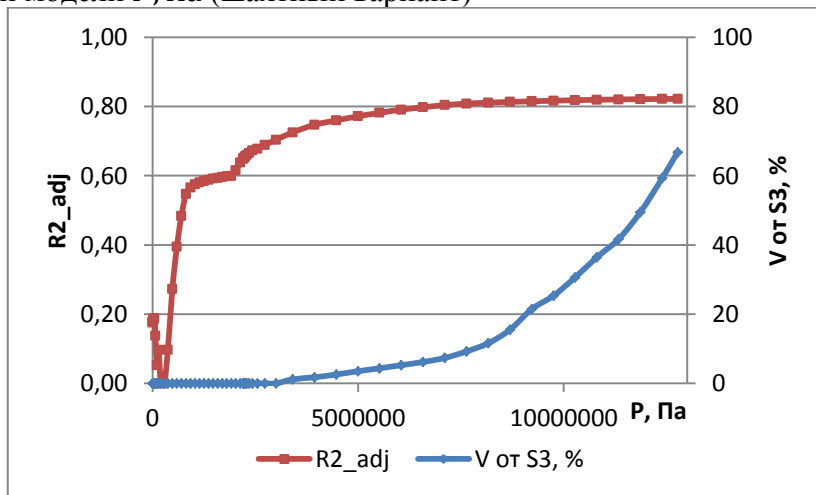


Рисунок С.3 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для пласта со стороны выработанного пространства от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (шахтный вариант)

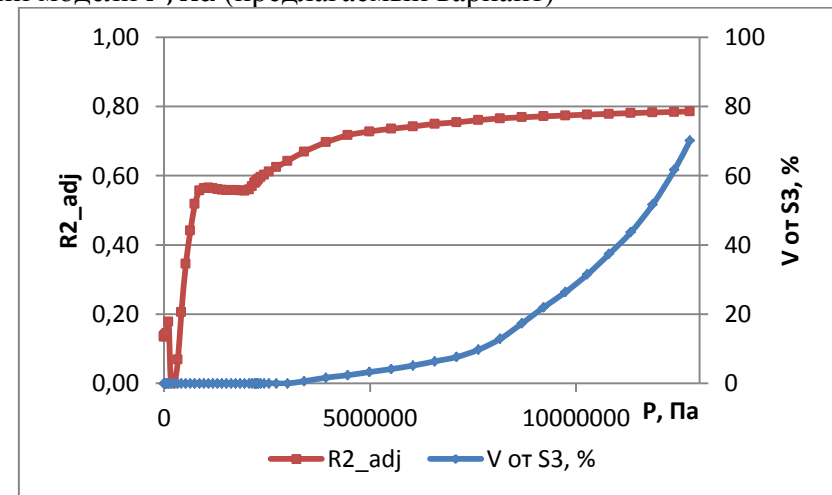


Рисунок С.4 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для пласта со стороны выработанного пространства от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (предлагаемый вариант)

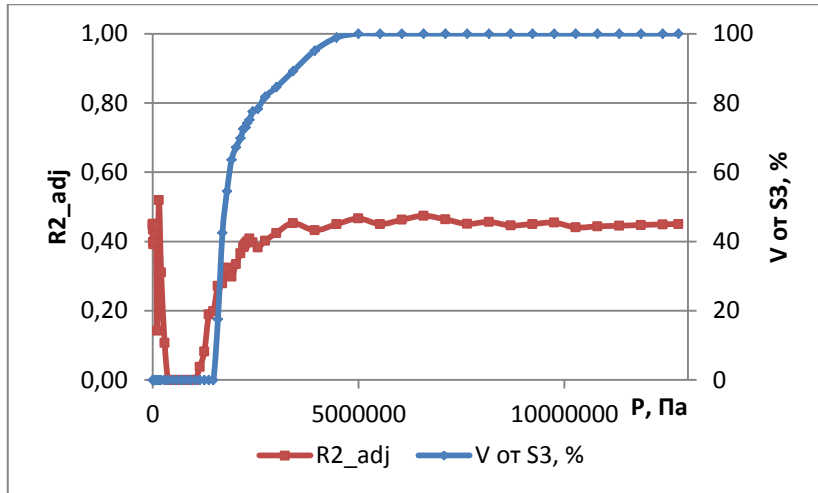


Рисунок С.5 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 3.2 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (шахтный вариант)

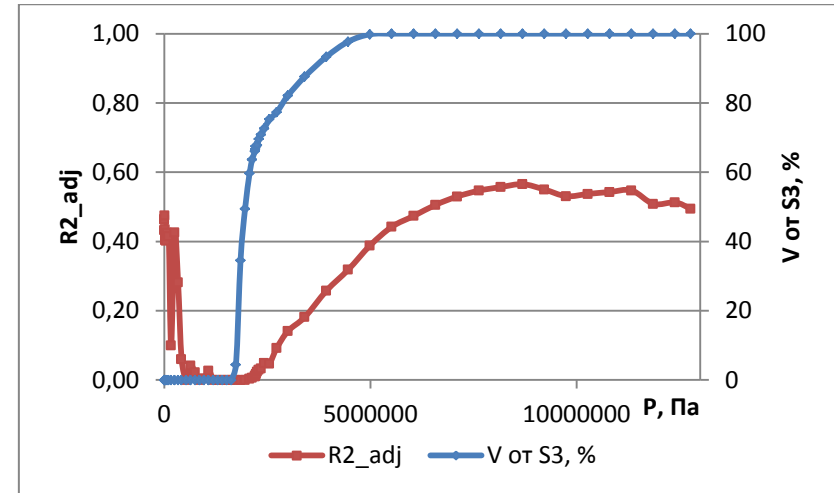


Рисунок С.6 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 3.2 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (предлагаемый вариант)

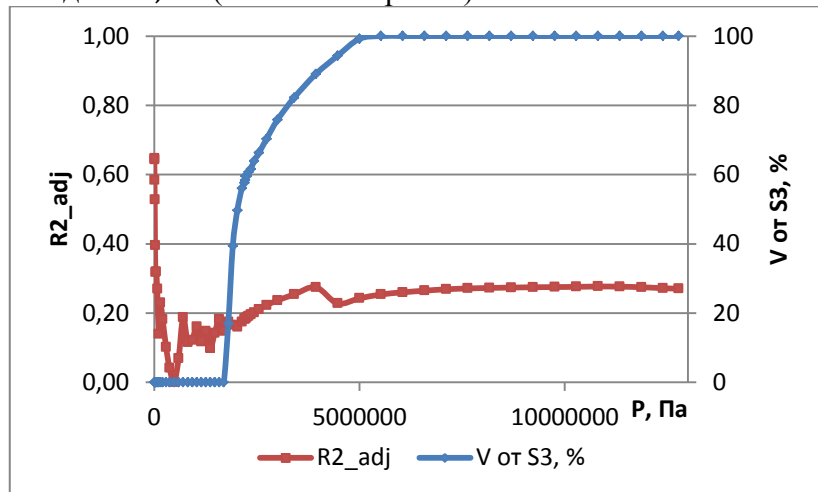


Рисунок С.7 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 4.2 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (шахтный вариант)

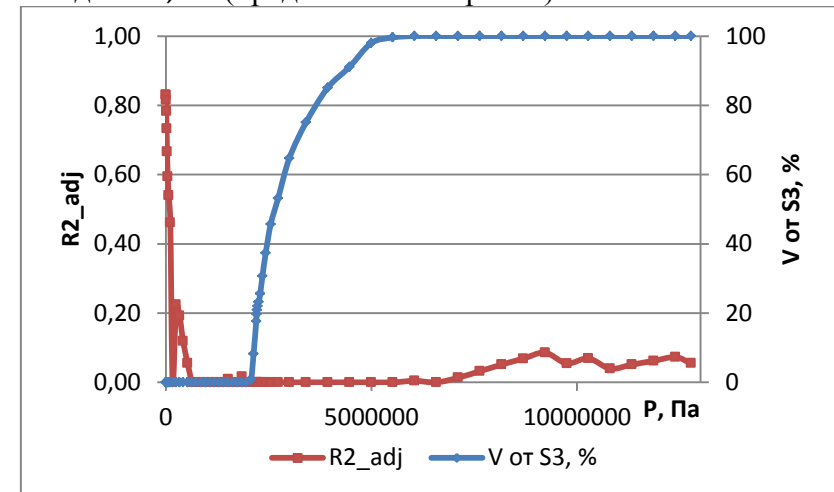


Рисунок С.8 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 4.2 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (предлагаемый вариант)

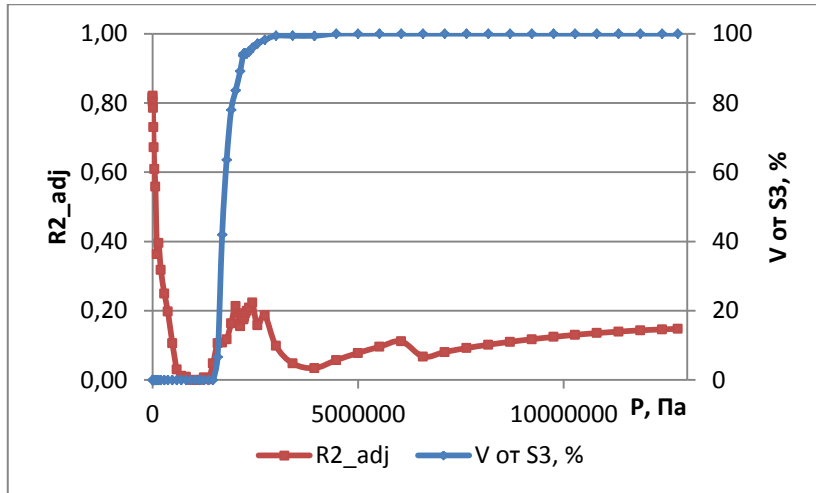


Рисунок С.9 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 2 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (шахтный вариант)

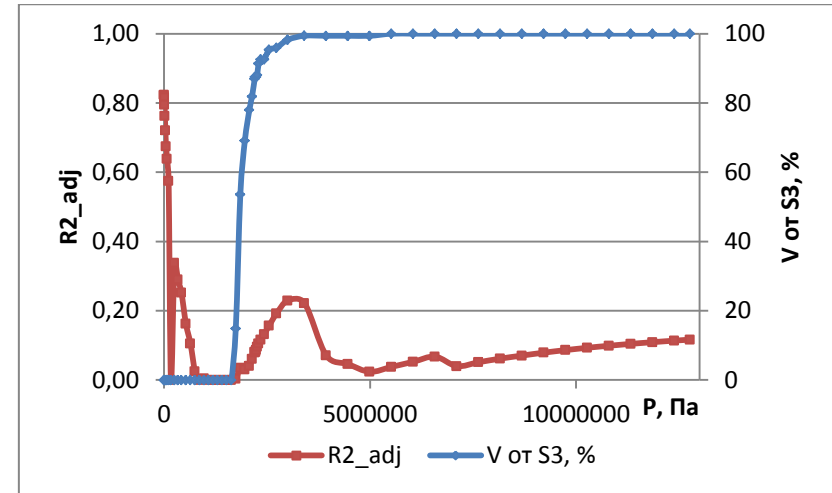


Рисунок С.10 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 2 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (предлагаемый вариант)

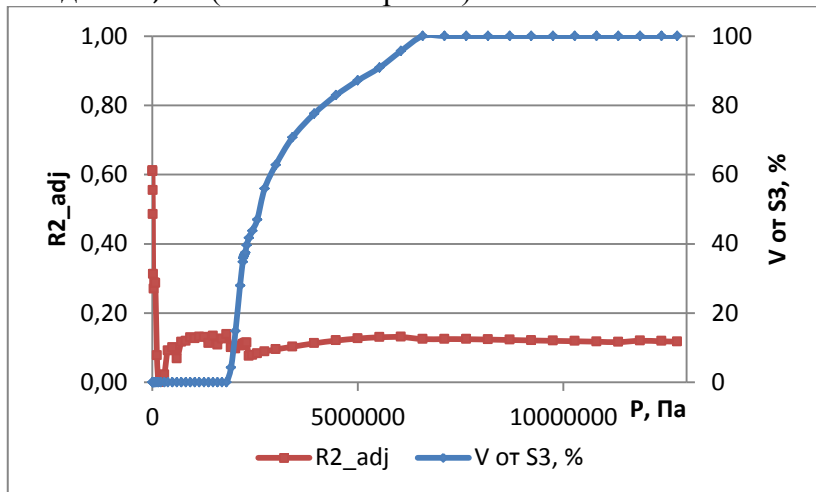


Рисунок С.11 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 3.1 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (шахтный вариант)

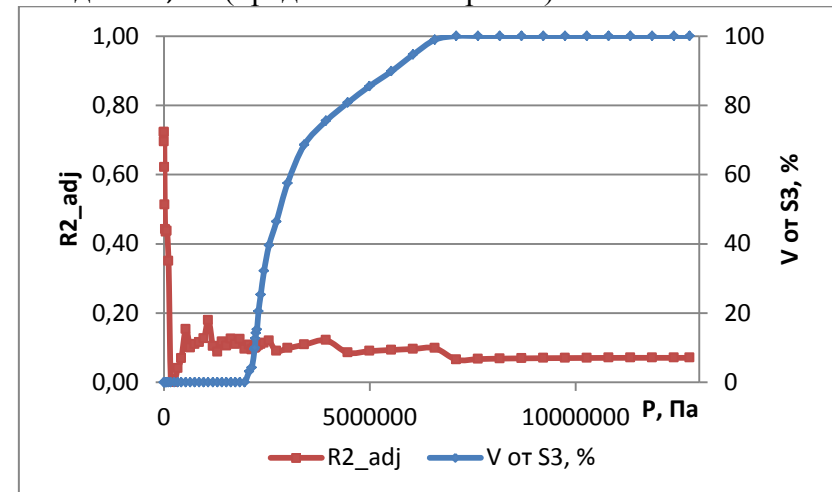


Рисунок С.12 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 3.1 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (предлагаемый вариант)

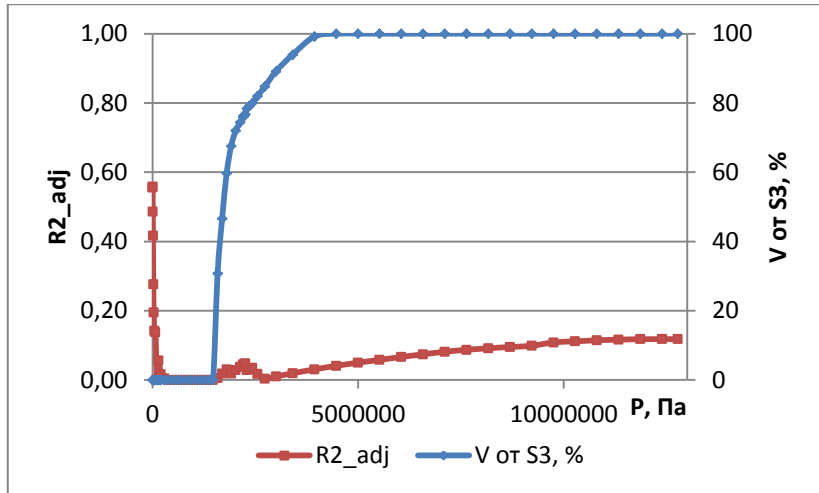


Рисунок С.13 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 4.1 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (шахтный вариант)

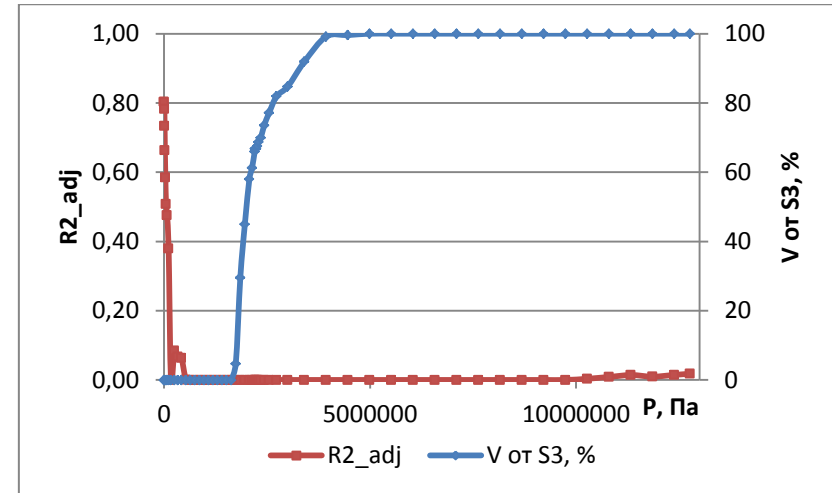


Рисунок С.14 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 4.1 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (предлагаемый вариант)

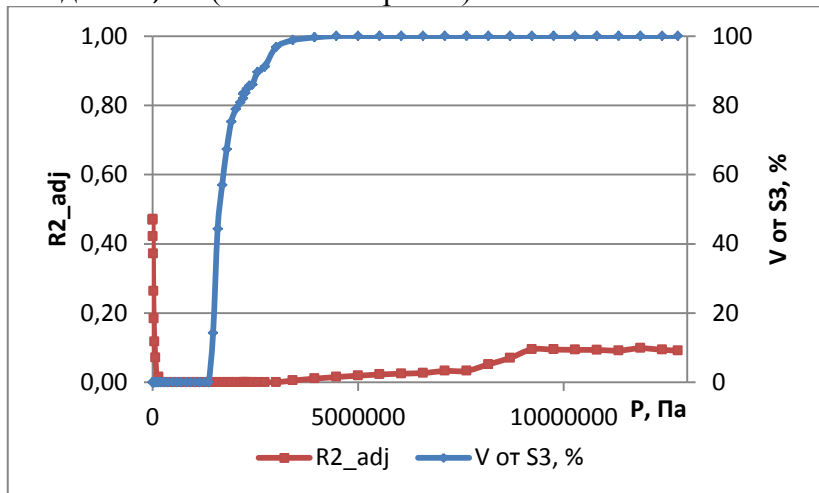


Рисунок С.15 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 4.3 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (шахтный вариант)

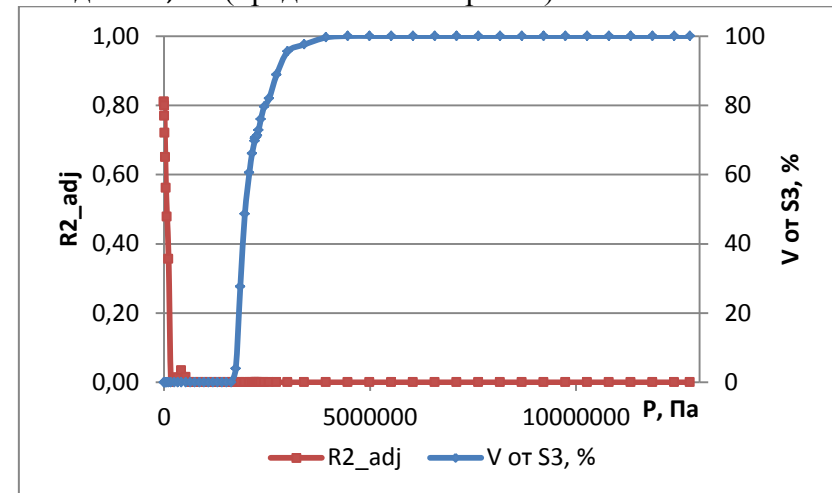


Рисунок С.16 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 4.3 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (предлагаемый вариант)

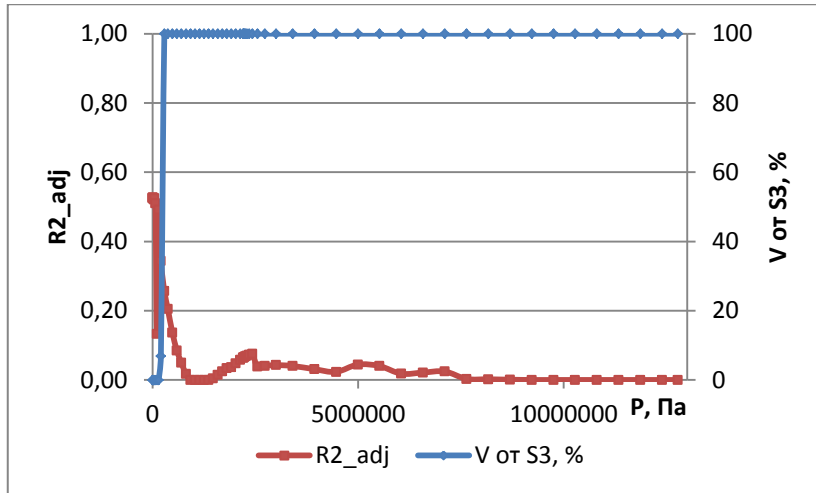


Рисунок С.17 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 5 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (шахтный вариант)

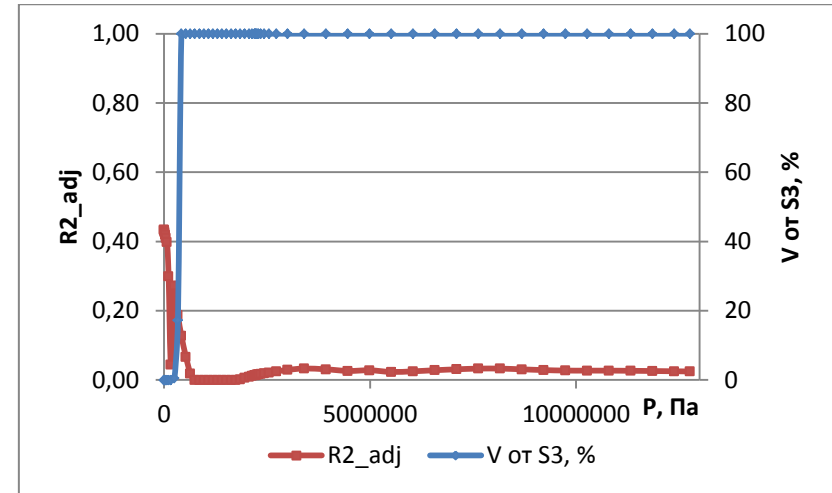


Рисунок С.18 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 5 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (предлагаемый вариант)

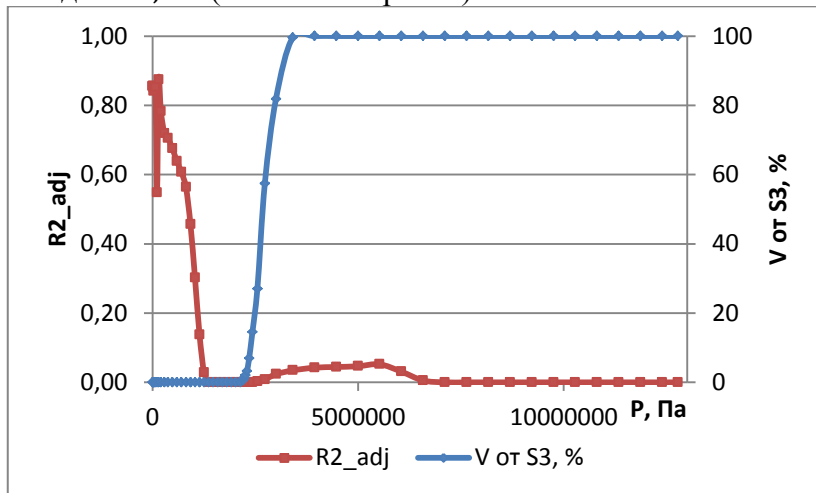


Рисунок С.19 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 6 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (шахтный вариант)

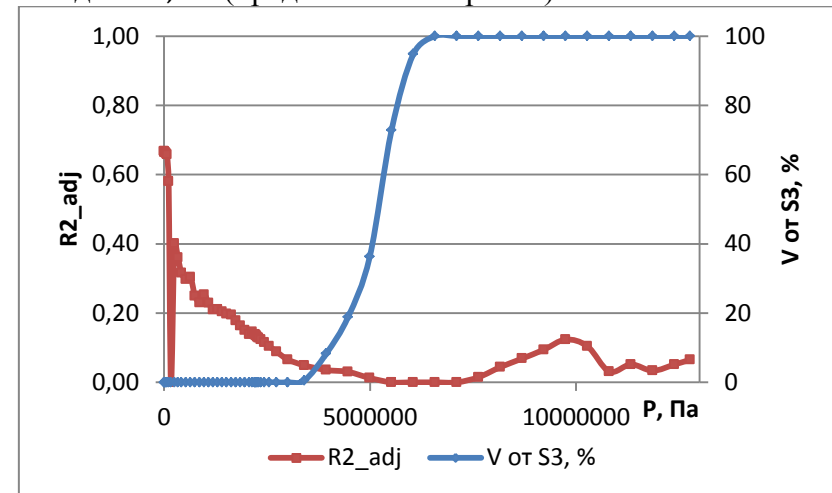


Рисунок С.20 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 6 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (предлагаемый вариант)



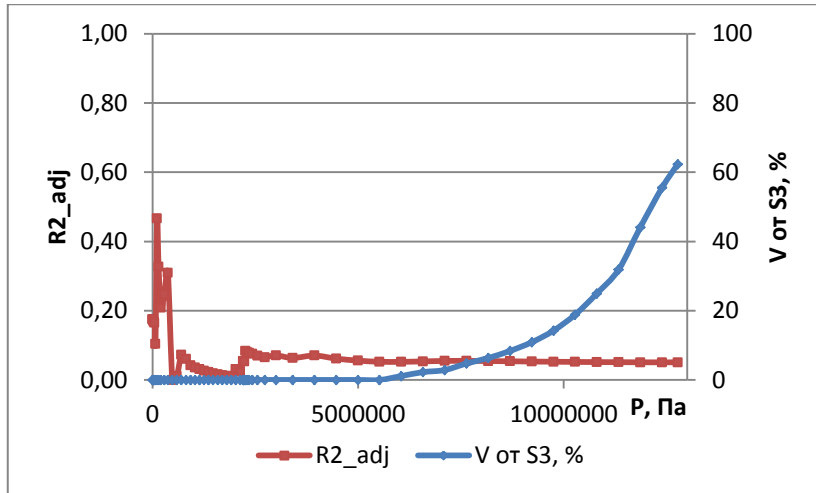


Рисунок С.21 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для пласта со стороны массива от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (шахтный вариант)

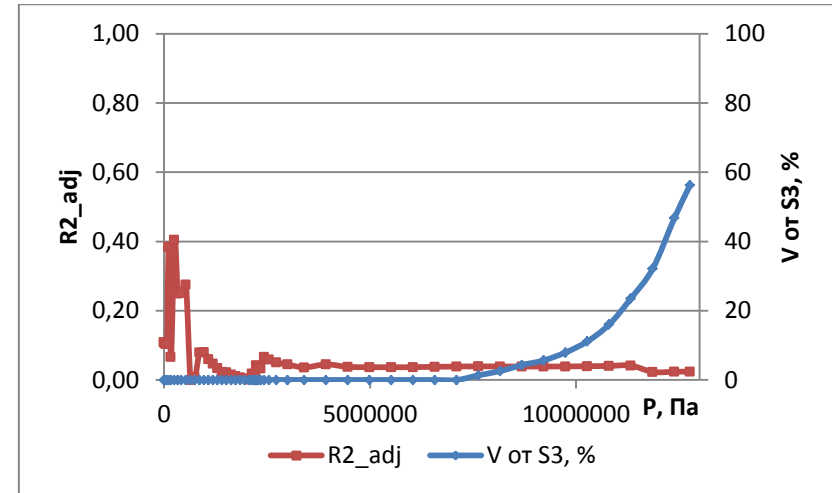


Рисунок С.22 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R_{adj}^2$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для пласта со стороны массива от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (предлагаемый вариант)

## ПРИЛОЖЕНИЕ Т

Таблица Т.1

Момент вступления в работу охранного сооружения (пв) для условий шахты «Рассвет-1»(с лавой Ш<sub>0</sub> = 50м)

$P$ , МПа	0	(0 ÷ 0,2) $\sigma_{сж}$	(0,2 ÷ 0,4) $\sigma_{сж}$	(0,4 ÷ 0,6) $\sigma_{сж}$	(0,6 ÷ 0,8) $\sigma_{сж}$	(0,8 ÷ 1,0) $\sigma_{сж}$	(1,0 ÷ 1,2) $\sigma_{сж}$	(1,2 ÷ 1,4) $\sigma_{сж}$	(1,4 ÷ 1,6) $\sigma_{сж}$	(1,6 ÷ 1,8) $\sigma_{сж}$	(1,8 ÷ 2,0) $\sigma_{сж}$
0,002	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,004	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,008	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,013	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,020	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,031	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,048	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,073	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,111	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,167	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,252	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,336	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,421	0	99,20	0,80	0	0	0	0	0	0	0	0
0,531	0	96,54	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0
0,641	0	96,54	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0
0,751	0	93,62	6,38	0	0	0	0	0	0	0	0
0,861	0	93,08	6,92	0	0	0	0	0	0	0	0
0,971	0	90,17	9,83	0	0	0	0	0	0	0	0
1,081	0	43,77	56,23	0	0	0	0	0	0	0	0
1,191	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
1,301	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
1,411	0	0	96,53	3,47	0	0	0	0	0	0	0
1,521	0	0	96,53	3,47	0	0	0	0	0	0	0
1,631	0	0	96,27	3,73	0	0	0	0	0	0	0
1,741	0	0	93,08	6,92	0	0	0	0	0	0	0
1,851	0	0	93,08	6,92	0	0	0	0	0	0	0
1,961	0	0	71,29	28,71	0	0	0	0	0	0	0
2,071	0	0	20,66	79,07	0,27	0	0	0	0	0	0
2,135	0	0	8,74	90,73	0,54	0	0	0	0	0	0
2,200	0	0	2,91	94,15	2,94	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы Т.1

$P$ , МПа	0	(0 ÷ 0,2) $\sigma_{СЖ}$	(0,2 ÷ 0,4) $\sigma_{СЖ}$	(0,4 ÷ 0,6) $\sigma_{СЖ}$	(0,6 ÷ 0,8) $\sigma_{СЖ}$	(0,8 ÷ 1,0) $\sigma_{СЖ}$	(1,0 ÷ 1,2) $\sigma_{СЖ}$	(1,2 ÷ 1,4) $\sigma_{СЖ}$	(1,4 ÷ 1,6) $\sigma_{СЖ}$	(1,6 ÷ 1,8) $\sigma_{СЖ}$	(1,8 ÷ 2,0) $\sigma_{СЖ}$
2,211	0	0	2,38	94,42	3,20	0	0	0	0	0	0
2,221	0	0	1,85	94,68	3,47	0	0	0	0	0	0
2,237	0	0	1,85	94,68	3,47	0	0	0	0	0	0
2,260	0	0	1,06	95,47	3,47	0	0	0	0	0	0
2,296	0	0	0,26	96,27	3,47	0	0	0	0	0	0
2,350	0	0	0	96,53	3,47	0	0	0	0	0	0
2,430	0	0	0	96,53	3,47	0	0	0	0	0	0
2,551	0	0	0	96,53	3,47	0	0	0	0	0	0
2,732	0	0	0	96,26	3,74	0	0	0	0	0	0
3,002	0	0	0	93,87	6,13	0	0	0	0	0	0
3,408	0	0	0	74,98	24,75	0,27	0	0	0	0	0
3,936	0	0	0	21,44	75,35	3,20	0	0	0	0	0
4,465	0	0	0	1,59	94,94	3,47	0	0	0	0	0
4,993	0	0	0	0	90,38	9,62	0	0	0	0	0
5,522	0	0	0	0	43,43	53,90	2,67	0	0	0	0
6,050	0	0	0	0	9,79	86,74	3,47	0	0	0	0
6,579	0	0	0	0	0	88,50	11,50	0	0	0	0
7,107	0	0	0	0	0	40,50	57,36	2,14	0	0	0
7,636	0	0	0	0	0	15,08	78,75	6,17	0	0	0
8,164	0	0	0	0	0	2,11	76,55	21,33	0	0	0
8,693	0	0	0	0	0	0	42,09	56,57	1,34	0	0
9,221	0	0	0	0	0	0	20,63	72,65	6,72	0	0
9,749	0	0	0	0	0	0	8,46	70,46	21,08	0	0
10,278	0	0	0	0	0	0	1,32	47,40	50,74	0,54	0
10,806	0	0	0	0	0	0	0	27,26	66,01	6,73	0
11,335	0	0	0	0	0	0	0	13,49	65,44	21,08	0
11,863	0	0	0	0	0	0	0	5,02	47,68	46,22	1,08
12,392	0	0	0	0	0	0	0	0,80	30,70	61,24	7,26
12,769	0	0	0	0	0	0	0	0,27	21,17	64,38	14,19



Продолжение таблицы Т.2

$P$ , МПа	0	(0 ÷ 0,2) $\sigma_{сж}$	(0,2 ÷ 0,4) $\sigma_{сж}$	(0,4 ÷ 0,6) $\sigma_{сж}$	(0,6 ÷ 0,8) $\sigma_{сж}$	(0,8 ÷ 1,0) $\sigma_{сж}$	(1,0 ÷ 1,2) $\sigma_{сж}$	(1,2 ÷ 1,4) $\sigma_{сж}$	(1,4 ÷ 1,6) $\sigma_{сж}$	(1,6 ÷ 1,8) $\sigma_{сж}$	(1,8 ÷ 2,0) $\sigma_{сж}$
2,211	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,221	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,237	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,260	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,296	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,350	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,430	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,551	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,732	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,002	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,408	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,936	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,465	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,993	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,522	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,050	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,579	96,82	3,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,107	92,30	7,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,636	88,85	11,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,164	80,35	19,65	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,693	69,19	28,68	2,13	0	0	0	0	0	0	0	0
9,221	60,43	33,45	6,12	0	0	0	0	0	0	0	0
9,749	52,73	33,44	13,04	0,53	0,26	0	0	0	0	0	0
10,278	46,08	34,76	18,36	0,53	0,27	0	0	0	0	0	0
10,806	39,18	32,88	24,48	2,13	0,80	0,53	0	0	0	0	0
11,335	31,23	33,12	29,79	4,80	0,80	0	0,27	0	0	0	0
11,863	23,55	35,75	31,91	7,73	1,07	0	0	0	0	0	0
12,392	20,63	29,38	30,54	19,18	0,27	0	0	0	0	0	0
12,769	17,72	25,40	27,32	26,35	3,21	0	0	0	0	0	0

Таблица Т.3

Момент вступления в работу охранного сооружения (пв) для условий шахты «Рассвет-1»(с лавой Ш<sub>п</sub> = 15м)

P, МПа	0	(0 ÷ 0,2) $\sigma_{сж}$	(0,2 ÷ 0,4) $\sigma_{сж}$	(0,4 ÷ 0,6) $\sigma_{сж}$	(0,6 ÷ 0,8) $\sigma_{сж}$	(0,8 ÷ 1,0) $\sigma_{сж}$	(1,0 ÷ 1,2) $\sigma_{сж}$	(1,2 ÷ 1,4) $\sigma_{сж}$	(1,4 ÷ 1,6) $\sigma_{сж}$	(1,6 ÷ 1,8) $\sigma_{сж}$	(1,8 ÷ 2,0) $\sigma_{сж}$	(2,0 ÷ 2,2) $\sigma_{сж}$
0,002	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,004	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,008	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,013	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,020	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,031	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,048	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,073	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,111	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,167	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,252	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,336	0	99,20	0,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,446	0	96,27	3,73	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,556	0	92,81	7,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,666	0	89,63	10,37	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,776	0	86,97	13,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,886	0	85,64	14,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,996	0	81,66	18,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,106	0	78,21	21,79	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,216	0	73,44	26,56	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,326	0	63,10	36,63	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0
1,436	0	25,48	71,05	3,47	0	0	0	0	0	0	0	0
1,546	0	0	96,26	3,74	0	0	0	0	0	0	0	0
1,656	0	0	93,07	6,93	0	0	0	0	0	0	0	0
1,766	0	0	89,88	10,12	0	0	0	0	0	0	0	0
1,876	0	0	87,75	12,25	0	0	0	0	0	0	0	0
1,986	0	0	85,90	14,11	0	0	0	0	0	0	0	0
2,096	0	0	82,97	16,22	0,80	0	0	0	0	0	0	0
2,2	0	0	79,00	17,53	3,47	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы Т.3

$P$ , МПа	0	(0 ÷ 0,2) $\sigma_{сж}$	(0,2 ÷ 0,4) $\sigma_{сж}$	(0,4 ÷ 0,6) $\sigma_{сж}$	(0,6 ÷ 0,8) $\sigma_{сж}$	(0,8 ÷ 1,0) $\sigma_{сж}$	(1,0 ÷ 1,2) $\sigma_{сж}$	(1,2 ÷ 1,4) $\sigma_{сж}$	(1,4 ÷ 1,6) $\sigma_{сж}$	(1,6 ÷ 1,8) $\sigma_{сж}$	(1,8 ÷ 2,0) $\sigma_{сж}$	(2,0 ÷ 2,2) $\sigma_{сж}$
2,211	0	0	78,73	17,79	3,47	0	0	0	0	0	0	0
2,221	0	0	78,73	17,79	3,47	0	0	0	0	0	0	0
2,237	0	0	78,73	17,79	3,47	0	0	0	0	0	0	0
2,260	0	0	77,67	18,85	3,47	0	0	0	0	0	0	0
2,296	0	0	76,08	20,45	3,48	0	0	0	0	0	0	0
2,350	0	0	75,29	20,97	3,74	0	0	0	0	0	0	0
2,430	0	0	72,90	23,09	4,01	0	0	0	0	0	0	0
2,551	0	0	64,15	29,98	5,87	0	0	0	0	0	0	0
2,732	0	0	15,64	74,76	9,60	0	0	0	0	0	0	0
3,002	0	0	0	88,01	11,45	0,54	0	0	0	0	0	0
3,408	0	0	0	84,29	11,96	3,75	0	0	0	0	0	0
3,815	0	0	0	76,34	17,78	5,88	0	0	0	0	0	0
4,343	0	0	0	52,71	36,89	9,86	0,54	0	0	0	0	0
4,872	0	0	0	0,26	86,41	10,11	3,21	0	0	0	0	0
5,400	0	0	0	0	84,82	10,90	4,29	0	0	0	0	0
5,929	0	0	0	0	79,78	13,81	5,88	0,54	0	0	0	0
6,457	0	0	0	0	70,45	19,68	7,46	2,41	0	0	0	0
6,986	0	0	0	0	46,87	40,61	9,31	3,22	0	0	0	0
7,514	0	0	0	0	5,83	80,05	9,83	4,02	0,27	0	0	0
8,043	0	0	0	0	0	80,82	11,69	5,34	2,15	0	0	0
8,571	0	0	0	0	0	71,23	18,36	7,19	3,22	0	0	0
9,099	0	0	0	0	0	38,11	48,56	9,30	3,75	0,27	0	0
9,628	0	0	0	0	0	8,48	76,86	10,10	3,22	1,34	0	0
10,156	0	0	0	0	0	0,53	76,80	13,32	6,13	3,22	0	0
10,685	0	0	0	0	0	0	69,36	19,44	7,71	3,22	0,27	0
11,213	0	0	0	0	0	0	35,20	51,20	9,30	3,75	0,54	0
11,742	0	0	0	0	0	0	12,19	71,26	10,39	3,21	2,95	0
12,270	0	0	0	0	0	0	1,59	75,18	13,35	6,39	3,22	0,27
12,769	0	0	0	0	0	0	0,27	68,55	18,91	8,51	3,22	0,54









Таблица Т.6

Момент вступления в работу охранного сооружения (шв) для условий шахты «Щегловская-Глубокая»(Ш<sub>0</sub> = 50м)

P, МПа	0	(0 ÷ 0,4)	(0,4 ÷ 0,8)	(0,8 ÷ 1,2)	(1,2 ÷ 1,6)	(1,6 ÷ 2,0)	(2,0 ÷ 2,4)	(2,4 ÷ 2,8)	(2,8 ÷ 3,2)	(3,2 ÷ 3,6)	(3,6 ÷ 4,0)	(4,0 ÷ 4,4)	(4,4 ÷ 4,8)	(4,8 ÷ 5,2)	(5,2 ÷ 5,6)	(5,6 ÷ 6,0)	(6,0 ÷ 6,4)	(6,4 ÷ 6,8)	(6,8 ÷ 7,2)	(7,2 ÷ 7,6)
		$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$
0,024	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,049	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,085	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,140	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,222	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,346	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,531	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,716	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,993	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,410	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,034	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,970	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,189	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,407	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,625	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,843	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,061	19,96	80,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10,280	0	35,48	64,52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11,498	0	2,21	44,37	53,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12,716	0	0	6,64	39,93	53,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13,934	0	0	0	6,64	33,26	46,68	13,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15,152	0	0	0	0	6,64	28,81	44,45	20,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16,371	0	0	0	0	0	11,06	22,18	37,76	20,04	8,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17,589	0	0	0	0	0	0	8,85	19,94	26,64	31,12	13,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18,807	0	0	0	0	0	0	0	8,85	17,73	19,97	35,54	8,95	8,97	0	0	0	0	0	0	0
20,025	0	0	0	0	0	0	0	0	8,84	15,52	19,94	31,11	11,12	13,45	0	0	0	0	0	0
21,243	0	0	0	0	0	0	0	0	2,22	6,62	13,29	17,74	24,41	20,02	4,48	11,22	0	0	0	0
22,462	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,22	6,62	13,29	15,50	22,20	22,22	4,48	6,73	6,73	0	0
23,680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,22	6,62	11,07	15,50	17,75	26,65	4,48	4,48	11,23	0
24,364	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,65	6,60	11,08	15,51	17,76	22,22	4,48	4,48	11,23

Таблица Т.7

Момент вступления в работу охранного сооружения (пв) для условий шахты «Щегловская-Глубокая» ( $\Sigma_{II} = 15\text{м}$ )

P, МПа	0	(0 ÷ 0,2)	(0,2 ÷ 0,4)	(0,4 ÷ 0,6)	(0,6 ÷ 0,8)	(0,8 ÷ 1,0)	(1,0 ÷ 1,2)	(1,2 ÷ 1,4)	(1,4 ÷ 1,6)	(1,6 ÷ 1,8)	(1,8 ÷ 2,0)	(2,0 ÷ 2,2)	(2,2 ÷ 2,4)	(2,4 ÷ 2,6)
		$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$
0,024	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,049	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,085	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,140	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,222	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,346	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,531	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,716	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,993	0	49,98	50,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,410	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,034	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,970	0	0	94,42	5,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,189	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,407	0	0	0	38,78	61,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,625	0	0	0	0	94,40	5,60	0	0	0	0	0	0	0	0
7,843	0	0	0	0	33,17	66,83	0	0	0	0	0	0	0	0
9,061	0	0	0	0	0	66,53	33,47	0	0	0	0	0	0	0
10,280	0	0	0	0	0	33,13	61,26	5,61	0	0	0	0	0	0
11,498	0	0	0	0	0	5,51	55,43	39,06	0	0	0	0	0	0
12,716	0	0	0	0	0	0	33,09	55,66	11,24	0	0	0	0	0
13,934	0	0	0	0	0	0	5,50	55,41	33,46	5,62	0	0	0	0
15,152	0	0	0	0	0	0	0	33,07	55,68	11,25	0	0	0	0
16,371	0	0	0	0	0	0	0	27,49	38,97	27,91	5,63	0	0	0
17,589	0	0	0	0	0	0	0	5,49	27,55	55,69	11,27	0	0	0
18,807	0	0	0	0	0	0	0	5,49	27,54	33,41	27,93	5,64	0	0
20,025	0	0	0	0	0	0	0	0	27,46	11,14	50,13	11,28	0	0
21,243	0	0	0	0	0	0	0	0	5,49	27,52	33,41	27,94	5,64	0
22,462	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,43	11,14	50,14	5,64	5,64
23,680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,98	22,01	33,42	22,30	11,29
24,364	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,48	21,94	16,72	44,57	11,29

Таблица Т.8

Момент вступления в работу охранного сооружения (шв) для условий шахты «Щегловская-Глубокая» ( $Ш_{\text{п}} = 15\text{м}$ )

P, МПа	0	(0 ÷ 0,2)	(0,2 ÷ 0,4)	(0,4 ÷ 0,6)	(0,6 ÷ 0,8)	(0,8 ÷ 1,0)	(1,0 ÷ 1,2)	(1,2 ÷ 1,4)	(1,4 ÷ 1,6)	(1,6 ÷ 1,8)	(1,8 ÷ 2,0)	(2,0 ÷ 2,2)	(2,2 ÷ 2,4)	(2,4 ÷ 2,6)
		$\sigma_{\text{сж}}$	$\sigma_{\text{сж}}$	$\sigma_{\text{сж}}$	$\sigma_{\text{сж}}$	$\sigma_{\text{сж}}$	$\sigma_{\text{сж}}$	$\sigma_{\text{сж}}$	$\sigma_{\text{сж}}$	$\sigma_{\text{сж}}$	$\sigma_{\text{сж}}$	$\sigma_{\text{сж}}$	$\sigma_{\text{сж}}$	$\sigma_{\text{сж}}$
0,024	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,049	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,085	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,140	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,222	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,346	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,531	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,716	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,993	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,410	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,034	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,970	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,189	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,407	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,625	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,843	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,061	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10,280	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11,498	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12,716	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13,934	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15,152	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16,371	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17,589	0	0	33,31	66,69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18,807	0	0	0	44,41	55,59	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20,025	0	0	0	0	61,03	38,97	0	0	0	0	0	0	0	0
21,243	0	0	0	0	0	61,02	38,98	0	0	0	0	0	0	0
22,462	0	0	0	0	0	0	27,74	72,26	0	0	0	0	0	0
23,680	0	0	0	0	0	0	0	5,53	77,73	16,74	0	0	0	0
24,364	0	0	0	0	0	0	0	0	44,30	55,70	0	0	0	0

Log-файлы для определения модуля упругости искусственной опоры

Блок 1(шахтный вариант)	Блок 1(предлагаемый вариант)
/prep7	/prep7
et,1,solid45	et,1,solid45
*dim,ex_,array,4	*dim,ex_,array,4
*vfill,ex_(1),data,2.0e14,7500.0e6,300.0e6,0.233e6	*vfill,ex_(1),data,2.0e14,7500.0e6,300.0e6,481.956e6
*dim,prxy_,array,4	*dim,prxy_,array,4
*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.45,0.018,0.3	*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.45,0.018,0.3
*do,i,1,4	*do,i,1,4
mptemp,,,,,,,,	mptemp,,,,,,,,
mptemp,1,0	mptemp,1,0
mpdata,ex,i,,ex_(i)	mpdata,ex,i,,ex_(i)
mpdata,prxy,i,,prxy_(i)	mpdata,prxy,i,,prxy_(i)
*enddo	*enddo
*set,ex_	*set,ex_
*set,prxy_	*set,prxy_
wprot,0,-90,0	wprot,0,-90,0
cyl4,0,0,0.06,,,,,1.17	cyl4,0,0,0.06,,,,,1.17
wprot,0,90,0	wprot,0,90,0
vgen,2,1,,,1.22,,,,,0	vgen,,1,,,,,0.61,,,1
block,-0.06,1.28,1.17,1.29,0.06,-0.06,	vgen,2,1,,,,,-1.22,,0
vgen,2,1,3,,,,-0.5,,0	wpoff,0,1.35,0.67
block,-0.06,0.06,1.29,1.41,0.06,-0.56,	blc5,0,0,0.12,0.12,-1.34
vgen,2,7,,,1.22,,,,,0	wpoff,0,-1.35,-0.67
block,-0.06,1.28,1.41,1.52,0.06,-0.56,	vgen,6,1,3,1,0.5,,,,,0
block,-0.06,1.28,1.52,1.62,0.06,-0.56,	vgen,6,1,3,1,-0.5,,,,,0
block,-0.06,1.28,0,1.29,-0.06,-0.44,	wpoff,0,1.23,0.67
wprot,0,0,-90	blc5,0,0,5.12,0.12,-0.12
blc4,0.06,0,-0.62,1.62,0	wpoff,0,-1.23,-0.67
wprot,0,0,90	vgen,2,34,,,,,-1.22,,0
blc4,-0.06,0,1.34,1.62,0	wpoff,0,1.465,0.67
agen,2,60,,,,,-0.5,,0	blc5,0,0,5.12,0.11,-1.34
vsba,all,59	wpoff,0,-1.465,-0.67
vsba,all,60	wpoff,0,1.57,0.67
vsba,all,61	blc5,0,0,5.12,0.1,-1.34
vsel,s,loc,x,0,-0.06	wpoff,0,-1.57,-0.67
vdele,all,,,1	wprot,0,0,-90
vsel,s,loc,z,0,0.06	blc5,0,0.81,1.34,1.62
vdele,all,,,1	wprot,0,0,90
vsel,s,loc,z,-0.5,-0.56	agen,,179,,,2.5,,,,,1
vdele,all,,,1	agen,2,179,,,,-5,,,,,0
allsel,all	blc5,0,0.81,5.12,1.62
numcmp,all	agen,,181,,,,,-0.61,,,1
*dim,vatt_,array,11	wprot,0,-90,0
*vfill,vatt_(1),data,2,2,2,3,3,4,3,3,3	cyl4,0,0,0.375,,,,,1.29
*vfill,vatt_(11),data,1	wprot,0,90,0
*do,i,1,11	vgen,4,38,,,0.875,,,,,0
vsel,s,,,i	vgen,4,38,,,,-0.875,,,,,0
vatt,vatt_(i),,1,0	vsba,all,179
*enddo	vsba,all,180
vsel,all	vsba,all,181
*set,vatt_	vsel,s,loc,x,-2.5,-3
vsweep,all	vdele,all,,,1
! создание контактных пар	vsel,s,loc,x,2.5,3
*dim,asel_1,array,17	vdele,all,,,1
*vfill,asel_1(1),data,39,39,44,44,38,38,45,45,36,36	vsel,s,loc,z,-0.61,-0.67
*vfill,asel_1(11),data,56,56,60,34,33,34,33	vdele,all,,,1
*dim,asel_2,array,17	allsel,all

Блок 1(шахтный вариант)	Блок 1(предлагаемый вариант)
*vfill,asel_2(1),data,10,6,4,14,52,28,52,28,52,28	numcmp,all
*vfill,asel_2(11),data,51,25,55,24,27,5,12	*dim,vatt_,array,44
*do,i,1,17	*vfill,vatt_(1),data,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2
*if,i,le,15,then	*vfill,vatt_(11),data,2,2,4,4,4,4,4,4,2,4
j=5	*vfill,vatt_(21),data,2,2,3,2,2,2,2,2,2,2
*else	*vfill,vatt_(31),data,3,3,3,3,3,3,3,3,3,3
j=0	*vfill,vatt_(41),data,3,3,3,1
*endif	*do,i,1,44
mp,mu,3,0.3	vsel,s,,i
mat,3	vatt,vatt_(i),,1,0
r,i+2	*enddo
real,i+2	vsel,all
et,2*i,170	*set,vatt_
et,2*i+1,174	vsweep,all
keyopt,2*i+1,5,k	! создание контактных пар
keyopt,2*i+1,10,2	*dim,asel_1,array,67
keyopt,2*i+1,12,j	*vfill,asel_1(1),data,122,122,122,122,122,122,122,122,122,122
asel,s,,asel_1(i)	*vfill,asel_1(11),data,122,205,205,205,205,205,205,205,205,205
type,2*i	*vfill,asel_1(21),data,205,205,123,123,123,123,123,123,123,123
nsla,s,1	*vfill,asel_1(31),data,123,123,123,206,206,206,206,206,206,206
esln,s,0	*vfill,asel_1(41),data,206,206,206,206,70,92,92,88,88,76
esll,u	*vfill,asel_1(51),data,80,80,84,84,104,208,208,208,208,208
esel,u,ename,,188,189	*vfill,asel_1(61),data,208,208,208,208,208,208,212
esurf	*dim,asel_2,array,67
asel,s,,asel_2(i)	*vfill,asel_2(1),data,33,55,49,43,37,2,8,14,20,26
type,2*i+1	*vfill,asel_2(11),data,99,61,137,134,131,128,116,64,67,96
nsla,s,1	*vfill,asel_2(21),data,112,141,144,149,154,159,164,169,174,179
esln,s,0	*vfill,asel_2(31),data,184,192,199,144,149,154,159,164,169,174
esurf	*vfill,asel_2(41),data,179,184,192,199,199,179,184,169,174,144
allsel	*vfill,asel_2(51),data,149,154,159,164,192,146,151,156,161,166
*enddo	*vfill,asel_2(61),data,171,176,181,186,193,200,209
*set,asel_1	*do,i,1,67
*set,asel_2	mp,mu,3,0.3
*do,i,1,15	mat,3
rmodif,i+2,3,10	r,i+2
*enddo	real,i+2
finish	et,2*i,170
/sol	et,2*i+1,174
*dim,da_1,array,33	keyopt,2*i+1,5,1
*vfill,da_1(1),data,11,16,18,19,26,29,31,32,37,49	keyopt,2*i+1,10,2
*vfill,da_1(11),data,53,54,57,58,1,7,8,15,17,22	keyopt,2*i+1,12,5
*vfill,da_1(21),data,30,40,41,42,43,46,47,48,2,3	asel,s,,asel_1(i)
*vfill,da_1(31),data,9,13,35	type,2*i
*do,i,1,33	nsla,s,1
*if,i,le,14,then	esln,s,0
j='ux'	esll,u
*elseif,i,ge,29,then	esel,u,ename,,188,189
j='all'	esurf
*else	asel,s,,asel_2(i)
j='uz'	type,2*i+1
*endif	nsla,s,1
da,da_1(i),j,	esln,s,0
*enddo	esurf
*set,da_1	allsel
allsel,all	*enddo
sfa,59,1,pres,3e6	*set,asel_1
lswrite,1,	*set,asel_2
finish	*do,i,1,67
/sol	rmodif,i+2,3,10
nlgeom,1	*enddo

Блок 1(шахтный вариант)	Блок 1(предлагаемый вариант)
nropt,unsym	finish
pstres,1	/sol
outres,all,all	*dim,da_1,array,84
outpr,basic,last	*vfill,da_1(1),data,31,73,97,107,111,119,135,139,188,194
kbc,0	*vfill,da_1(11),data,195,196,197,201,202,203,6,12,18,24
deltim,0.001,0.001,0.05	*vfill,da_1(21),data,30,41,47,53,59,62,65,74,108,109
time,1	*vfill,da_1(31),data,113,114,117,118,121,125,126,129,132,138
lssolve,1,1,1,	*vfill,da_1(41),data,142,143,148,153,158,163,168,173,178,183
	*vfill,da_1(51),data,189,190,204,207,210,1,7,13,19,25
	*vfill,da_1(61),data,32,36,42,48,54,60,63,66,69,75
	*vfill,da_1(71),data,79,83,87,91,95,98,103,110,115,127
	*vfill,da_1(81),data,130,133,136,140
	*do,i,1,84
	*if,i,le,16,then
	j='ux'
	*elseif,i,ge,56,then
	j='all'
	*else
	j='uz'
	*endif
	da,da_1(i),j,
	*enddo
	*set,da_1
	allsel,all
	sfa,211,1,pres,20e6
	lswrite,1,
	finish
	/sol
	nlgeom,1
	nropt,unsym
	pstres,1
	outres,all,all
	outpr,basic,last
	kbc,0
	deltim,0.001,0.001,0.05
	time,1
	lssolve,1,1,1,

Таблица У.2

## Log-файлы для определения модуля упругости искусственной опоры

Блок 2	Блок 3
/prep7	/prep7
et,1,solid45	et,1,solid45
*dim,ex_,array,4	*dim,ex_,array,5
*vfill,ex_(1),data,2.0e14,7500.0e6,300.0e6,5.0e6	*vfill,ex_(1),data,2.0e14,7500.0e6,300.0e6,7.024e6,3.543e6
*dim,prxy_,array,4	*dim,prxy_,array,5
*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.45,0.018,0.3	*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.45,0.018,0.3,0.3
*do,i,1,4	*do,i,1,5
mptemp,,,,,,,,	mptemp,,,,,,,,
mptemp,1,0	mptemp,1,0
mpdata,ex,i,,ex_(i)	mpdata,ex,i,,ex_(i)
mpdata,prxy,i,,prxy_(i)	mpdata,prxy,i,,prxy_(i)
*enddo	*enddo
*set,ex_	*set,ex_
*set,prxy_	*set,prxy_
wprot,0,-90,0	wprot,0,-90,0
cyl4,0,0,0.06,,,,,1.17	cyl4,0,0,0.06,,,,,1.17
wprot,0,90,0	wprot,0,90,0



Блок 2	Блок 3
vgen,3,1,,,,,-1.12,,0	vgen,2,1,,,,,-1.22,,0
block,-0.06,0.06,1.29,1.41,0.06,-2.6,	vgen,3,2,,,,,-1.12,,0
vgen,2,1,4,1,0.5,,,,0	block,-0.06,0.06,1.29,1.41,0.06,-3.72,
block,-0.06,0.56,1.17,1.29,0.06,-0.06,	block,-0.06,5.34,1.17,1.29,0.06,-0.06,
vgen,3,9,,,,,-1.12,,0	vgen,2,6,,,,,-1.22,,0
vgen,2,3,,,0.13,,,,0	vgen,3,7,,,,,-1.12,,0
vgen,3,12,,,0.12,,,,0	vgen,11,1,,,0.5,,,,0
block,-0.06,0.56,1.41,1.52,0.06,-2.6,	vgen,11,5,,,0.5,,,,0
block,-0.06,0.56,1.52,1.62,0.06,-2.6,	block,1.8,5.34,0,1.29,-0.16,-1.06,
block,-0.06,0.56,0,1.29,-0.06,-1.06,	block,0.34,5.34,0,1.17,-1.16,-4.08,
vgen,2,17,,,,,-1.12,,0	block,-0.06,5.34,1.41,1.52,0.06,-4.08,
wprot,0,0,-90	block,-0.06,5.34,1.52,1.62,0.06,-4.08,
blc4,0.06,0,-2.66,1.62,0	*dim,vatt_,array,33
wprot,0,0,90	*vfill,vatt_(1),data,2,2,2,2,3,3,3,3,2
agen,2,91,,,0.5,,,,0	*vfill,vatt_(11),data,2,2,2,2,2,2,2,2,3
blc4,-0.06,0,0.62,1.62,0	*vfill,vatt_(21),data,3,3,3,3,3,3,3,3,5
vsba,all,91	*vfill,vatt_(31),data,4,3,1
vsba,all,92	*do,i,1,33
vsba,all,93	vsel,s,,,i
vsel,s,loc,x,0,-0.06	vatt,vatt_(i),,1,0
vdele,all,,,1	*enddo
vsel,s,loc,x,0.5,0.56	vsel,all
vdele,all,,,1	*set,vatt_
vsel,s,loc,z,0.06,0	vsweep,all
vdele,all,,,1	! создание контактных пар
allsel,all	*dim,asel_1,array,80
numcmp,all	*vfill,asel_1(1),data,25,25,25,25,25,25,25,25,25,
*dim,vatt_,array,18	*vfill,asel_1(11),data,25,156,156,156,31,37,43,19,89,95,
*vfill,vatt_(1),data,2,2,2,2,2,2,2,2,3	*vfill,asel_1(21),data,101,107,113,119,125,131,137,143,19,89,
*vfill,vatt_(11),data,3,3,4,4,3,3,3,1	*vfill,asel_1(31),data,95,101,107,113,119,125,131,137,143,19,
*do,i,1,18	*vfill,asel_1(41),data,89,95,101,107,113,119,125,131,137,143,
vsel,s,,,i	*vfill,asel_1(51),data,19,89,95,101,107,113,119,125,131,137,
vatt,vatt_(i),,1,0	*vfill,asel_1(61),data,143,150,150,150,150,150,150,150,161,161,
*enddo	*vfill,asel_1(71),data,161,161,161,161,161,161,161,161,167,
vsel,all	*dim,asel_2,array,80
*set,vatt_	*vfill,asel_2(1),data,2,48,52,56,60,64,68,72,76,80,
vsweep,all	*vfill,asel_2(11),data,84,31,37,43,6,10,14,26,26,26,
! создание контактных пар	*vfill,asel_2(21),data,26,26,26,26,26,26,26,26,32,32,
*dim,asel_1,array,29	*vfill,asel_2(31),data,32,32,32,32,32,32,32,32,38,
*vfill,asel_1(1),data,89,89,62,62,66,66,66,66,66,8	*vfill,asel_2(41),data,38,38,38,38,38,38,38,38,38,
*vfill,asel_1(11),data,81,81,49,49,49,77,73,77,73,92	*vfill,asel_2(51),data,44,44,44,44,44,44,44,44,44,
*vfill,asel_1(21),data,92,95,71,70,75,74,74,74,74	*vfill,asel_2(61),data,44,107,113,119,125,131,137,143,20,90,
*dim,asel_2,array,29	*vfill,asel_2(71),data,96,102,108,114,120,126,132,138,144,162,
*vfill,asel_2(1),data,43,8,33,4,38,19,27,14,23,67	*do,i,1,80
*vfill,asel_2(11),data,63,88,67,63,88,81,81,49,49,80	mp,mu,3,0.3
*vfill,asel_2(21),data,48,91,59,61,60,65,21,25,29	mat,3
*do,i,1,29	r,i+2
*if,i,le,22,then	real,i+2
j=5	et,2*i,170
*else	et,2*i+1,174
j=0	keyopt,2*i+1,5,1
*endif	keyopt,2*i+1,10,2
mp,mu,3,0.3	keyopt,2*i+1,12,5
mat,3	asel,s,,,asel_1(i)
r,i+2	type,2*i
real,i+2	nsla,s,1
et,2*i,170	esln,s,0
et,2*i+1,174	esll,u
keyopt,2*i+1,5,1	esel,u,ename,,188,189
keyopt,2*i+1,10,2	esurf

Блок 2	Блок 3
keyopt,2*i+1,12,j	asel,s,,,asel_2(i)
asel,s,,,asel_1(i)	type,2*i+1
type,2*i	nsla,s,1
nsla,s,1	esln,s,0
esln,s,0	esurf
esll,u	allsel
esel,u,ename,,188,189	*enddo
esurf	*set,asel_1
asel,s,,,asel_2(i)	*set,asel_2
type,2*i+1	*do,i,1,80
nsla,s,1	rmodif,i+2,3,10
esln,s,0	*enddo
esurf	finish
allsel	/sol
*enddo	*dim,da_1,array,48
*set,asel_1	*vfill,da_1(1),data,21,27,28,33,34,39,40,45,46,152
*set,asel_2	*vfill,da_1(11),data,158,163,164,169,170,18,24,88,94,100
*do,i,1,22	*vfill,da_1(21),data,106,112,118,124,130,136,142,153,159,160
rmodif,i+2,3,10	*vfill,da_1(31),data,165,166,1,5,9,13,47,51,55,59
*enddo	*vfill,da_1(41),data,63,67,71,75,79,83,149,155
finish	*do,i,1,48
/sol	*if,i,le,15,then
*dim,da_1,array,40	j='ux'
*vfill,da_1(1),data,2,5,12,36,41,44,45,47,50,52	*elseif,i,ge,33,then
*vfill,da_1(11),data,53,54,55,56,57,58,78,83,84,85	j='all'
*vfill,da_1(21),data,86,87,6,9,51,82,90,93,96,3	*else
*vfill,da_1(31),data,7,13,18,22,26,30,32,37,72,76	j='uz'
*do,i,1,40	*endif
*if,i,le,22,then	da,da_1(i),j,
j='ux'	*enddo
*elseif,i,ge,30,then	*set,da_1
j='all'	allsel,all
*else	sfa,168,1,pres,1e6
j='uz'	lswrite,1,
*endif	finish
da,da_1(i),j,	/sol
*enddo	nlgeom,1
*set,da_1	nropt,unsym
allsel,all	pstres,1
sfa,94,1,pres,4e6	outres,all,all
lswrite,1,	outpr,basic,last
finish	kbc,0
/sol	deltim,0.001,0.001,0.05
nlgeom,1	time,1
nropt,unsym	lssolve,1,1,1,
pstres,1	
outres,all,all	
outpr,basic,last	
kbc,0	
deltim,0.001,0.001,0.05	
time,1	
lssolve,1,1,1,	

## Log-файлы для определения модуля упругости искусственной опоры

Блок 4 (до конвейера)	Блок 4 (после конвейера)
/prep7	/prep7
et,1,solid45	et,1,solid45
*dim,ex_,array,5	*dim,ex_,array,4
*vfill,ex_(1),data,2.0e14,7500.0e6,300.0e6,97.735e6,2.1e11	*vfill,ex_(1),data,2.0e14,7500.0e6,300.0e6,7.024e6
*dim,prxy_,array,5	*dim,prxy_,array,4
*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.45,0.018,0.3,0.25	*vfill,prxy_(1),data,0.3,0.45,0.018,0.3
*do,i,1,5	*do,i,1,4
mptemp,,,,,,,,	mptemp,,,,,,,,
mptemp,1,0	mptemp,1,0
mpdata,ex,i,,ex_(i)	mpdata,ex,i,,ex_(i)
mpdata,prxy,i,,prxy_(i)	mpdata,prxy,i,,prxy_(i)
*enddo	*enddo
*set,ex_	*set,ex_
*set,prxy_	*set,prxy_
wprot,0,-90,0	wprot,0,-90,0
cyl4,0,0,0.06,,,,1.75	cyl4,0,0,0.06,,,,1.75
wprot,0,90,0	wprot,0,90,0
wpoff,0,1.93,0.15	wpoff,0,1.93,0.15
blc5,0,0,0.12,0.12,-5.5	blc5,0,0,0.12,0.12,-5.5
wpoff,0,-1.93,-0.15	wpoff,0,-1.93,-0.15
vgen,2,1,2,,0.4,,,,0	vgen,2,1,2,,0.4,,,,0
wpoff,-0.2,1.81,0	wpoff,-0.2,1.81,0
wprot,0,0,-90	wprot,0,0,-90
blc5,0,0,0.12,0.12,-0.8	blc5,0,0,0.12,0.12,-0.8
wprot,0,0,90	wprot,0,0,90
wpoff,0.2,-1.81,0	wpoff,0.2,-1.81,0
vgen,2,5,,,,-1.25,,0	vgen,2,3,5,2,,-1.25,,0
vgen,2,5,,,,-5.2,,0	vgen,2,3,5,2,,-5.2,,0
wpoff,-0.2,1.8238,-1.81415	vgen,2,7,,,,-0.775,,0
wprot,0,0,-90	vgen,5,10,,,,-0.6,,0
blc5,0,0,0.0983,0.0924,-0.8	wpoff,-0.2,0.875,-3.225
wprot,0,0,90	wprot,0,0,-90
wpoff,0.2,-1.8238,1.81415	blc5,0,0,2.92,1.75,-0.8
vgen,3,8,,,,-0.6,,0	wprot,0,0,90
vgen,2,8,10,,,,-1.6217,,0	wpoff,0.2,-0.875,3.225
wpoff,0.4,0.875,-1.31	wpoff,-0.2,2.045,-2.6
blc5,0,0,0.12,1.75,0.12	wprot,0,0,-90
wpoff,-0.4,-0.875,1.31	blc5,0,0,5.5,0.11,-0.8
vgen,2,14,,,,-3.95,,0	wprot,0,0,90
wpoff,0.4,0.8888,-1.8633	wpoff,0.2,-2.045,2.6
blc5,0,0,0.12,1.7776,0.0983	wpoff,-0.2,2.15,-2.6
wpoff,-0.4,-0.8888,1.8633	wprot,0,0,-90
vgen,2,16,,,,-1.2,,0	blc5,0,0,5.5,0.10,-0.8
vgen,2,16,,,,-2.2217,,0	wprot,0,0,90
vgen,2,16,,,-0.4,,-0.6,,0	wpoff,0.2,-2.15,2.6
vgen,2,16,,,-0.4,,-1.6217,,0	*dim,vatt_,array,17
vgen,2,16,,,-0.4,,-2.8217,,0	*vfill,vatt_(1),data,2,3,2,3,3,2,3,2,3,3
wpoff,-0.2,2.045,-2.6	*vfill,vatt_(11),data,3,3,3,3,4,3,1
wprot,0,0,-90	*do,i,1,17
blc5,0,0,5.5,0.11,-0.8	vsel,s,,i
wprot,0,0,90	vatt,vatt_(i),,1,0
wpoff,0.2,-2.045,2.6	*enddo
wpoff,-0.2,2.15,-2.6	vsel,all
wprot,0,0,-90	*set,vatt_
blc5,0,0,5.5,0.10,-0.8	vsweep,all
wprot,0,0,90	! создание контактных пар
wpoff,0.2,-2.15,2.6	*dim,asel_1,array,28
*dim,vatt_,array,23	*vfill,asel_1(1),data,23,23,33,80,80,80,80,80,43,7

Блок 4 (до конвейера)	Блок 4 (после конвейера)
*vfill,vatt_(1),data,2,3,2,3,3,3,3,5,5,5	*vfill,asel_1(11),data,7,7,7,7,7,7,17,17,17
*vfill,vatt_(11),data,5,5,5,4,4,4,4,4,4,4	*vfill,asel_1(21),data,17,17,17,17,17,85,85,91
*vfill,vatt_(21),data,4,3,1	*dim,asel_2,array,28
*do,i,1,23	*vfill,asel_2(1),data,2,12,28,61,49,55,67,73,38,24
vsel,s,,i	*vfill,asel_2(11),data,34,44,50,56,62,68,74,24,34,44
vatt,vatt_(i),,1,0	*vfill,asel_2(21),data,50,56,62,68,74,8,18,86
*enddo	*do,i,1,28
vsel,all	mp,mu,3,0.3
*set,vatt_	mat,3
vsweep,all	r,i+2
! создание контактных пар	real,i+2
*dim,asel_1,array,25	et,2*i,170
*vfill,asel_1(1),data,23,23,29,35,7,7,7,7,7,7	et,2*i+1,174
*vfill,asel_1(11),data,7,7,7,17,17,17,17,17,17,17	keyopt,2*i+1,5,1
*vfill,asel_1(21),data,17,17,125,125,131	keyopt,2*i+1,10,2
*dim,asel_2,array,25	keyopt,2*i+1,12,5
*vfill,asel_2(1),data,2,12,78,84,24,30,36,42,48,54	asel,s,,asel_1(i)
*vfill,asel_2(11),data,60,66,72,24,30,36,42,48,54,60	type,2*i
*vfill,asel_2(21),data,66,72,8,18,126	nsla,s,1
*do,i,1,25	esln,s,0
mp,mu,3,0.3	esll,u
mat,3	esel,u,ename,,188,189
r,i+2	esurf
real,i+2	asel,s,,asel_2(i)
et,2*i,170	type,2*i+1
et,2*i+1,174	nsla,s,1
keyopt,2*i+1,5,1	esln,s,0
keyopt,2*i+1,10,2	esurf
keyopt,2*i+1,12,5	allsel
asel,s,,asel_1(i)	*enddo
type,2*i	*set,asel_1
nsla,s,1	*set,asel_2
esln,s,0	*do,i,1,28
esll,u	rmodif,i+2,3,10
esel,u,ename,,188,189	*enddo
esurf	finish
asel,s,,asel_2(i)	/sol
type,2*i+1	*dim,da_1,array,35
nsla,s,1	*vfill,da_1(1),data,21,22,31,32,41,42,47,48,53,54
esln,s,0	*vfill,da_1(11),data,59,60,65,66,71,72,77,78,83,84
esurf	*vfill,da_1(21),data,89,90,5,6,15,16,87,88,93,94
allsel	*vfill,da_1(31),data,1,11,27,37,79
*enddo	*do,i,1,35
*set,asel_1	*if,i,le,22,then
*set,asel_2	j='ux'
*do,i,1,25	*elseif,i,ge,31,then
rmodif,i+2,3,10	j='all'
*enddo	*else
finish	j='uz'
/sol	*endif
*dim,da_1,array,40	da,da_1(i),j,
*vfill,da_1(1),data,21,22,27,28,33,34,39,40,45,46	*enddo
*vfill,da_1(11),data,51,52,57,58,63,64,69,70,123,124	*set,da_1
*vfill,da_1(21),data,129,130,5,6,15,16,127,128,133,134	allsel,all
*vfill,da_1(31),data,1,11,77,83,89,95,101,107,113,119	sfa,92,1,pres,4e6
*do,i,1,40	lswrite,1,
*if,i,le,22,then	finish
j='ux'	/sol
*elseif,i,ge,31,then	nlgeom,1
j='all'	nropt,unsym

Блок 4 (до конвейера)	Блок 4 (после конвейера)
*else	pstres,1
j='uz'	outr,all,all
*endif	outpr,basic,last
da,da_1(i),j,	kbc,0
*enddo	deltim,0.001,0.001,0.05
*set,da_1	time,1
allsel,all	lssolve,1,1,1,
sfa,132,1,pres,0.5e6	
lwrite,1,	
finish	
/sol	
nlgeom,1	
nropt,unsym	
pstres,1	
outr,all,all	
outpr,basic,last	
kbc,0	
deltim,0.001,0.001,0.05	
time,1	
lssolve,1,1,1,	

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ф

## Ф.1 Расчёт объемного веса блоков 0-4

Расчет объемного веса осуществлялся с помощью элементарных формул расчета объема параллелепипеда и цилиндра, по их линейным размерам, а также формулы расчета массы, по их объему и плотности. Исходя из этих соображений, формулы не приводятся, а исходные данные для расчета объемного веса блоков и полученные результаты сводятся в таблицу Ф.1.

Ф.2 Расчёт объемного веса блока 1 для предлагаемого варианта охранного сооружения

В таблице Ф.1 представлен объемный вес блока 1 для шахтного варианта охранного сооружения. Для предлагаемого варианта расчет объемного веса тумбы с распором произведен по формулам Н.2.10- Н.2.32, а расчёт объемного веса индивидуальной крепи, под которой устанавливается тумба, взят из таблицы Ф.1. Результат расчета сведен в таблицу 5.6.

## Объемный вес блоков 0-4

Элемент	Исходные данные	Блок					
		0	1	2	3	4	
затяжка	длина распила, м	-	1,28	2,6	3,78	3,78	
	площадь сечения распила, м <sup>2</sup>		0,019	0,019	0,019	0,019	
	объем распила, м <sup>3</sup>		0,024	0,049	0,072	0,072	
	ширина распила, м		0,22	0,22	0,22	0,22	
	длина блока, м		0,5	0,5	5,4	8	
	количество распилов, шт		2,273	2,273	24,545	36,364	
	объем распилов, м <sup>3</sup>		0,055	0,112	1,764	2,613	
	плотность дерева, кг/м <sup>3</sup>		600 [210]				
	вес распилов, кг		33,18	67,39	1058,10	1567,56	
	брус    оч. забюю		длина бруса, м	-	0,5	0,5	3,78
ширина бруса, м		0,12	0,12		0,12	0,12	
высота бруса, м		0,12	0,12		0,12	0,12	
объем бруса, м <sup>3</sup>		0,007	0,007		0,054	0,079	
количество брусьев, шт		1,5	2,5		11	20	
объем брусьев, м <sup>3</sup>		0,011	0,018		0,599	1,584	
плотность дерева, кг/м <sup>3</sup>		600 [210]					
вес брусьев, кг		6,48	10,82		360,45	955,15	
брус⊥ оч. забою	длина бруса, м	-	1,28	2,6	5,4	8	6,415
	ширина бруса, м		0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	высота бруса, м		0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	объем бруса, м <sup>3</sup>		0,018	0,037	0,078	0,115	0,092
	количество брусьев, шт		1	1	4	3	5
	объем брусьев, м <sup>3</sup>		0,018	0,037	0,311	0,346	0,462
	плотность дерева, кг/м <sup>3</sup>		600 [210]				
	вес брусьев, кг		11,06	22,50	187,25	208,40	278,51

Продолжение таблицы Ф.1

Элемент	Исходные данные	Блок					
		0	1	2	3	4	
стойка	длина стойки, м	-	1,17	1,17	1,17	1,75	
	диаметр стойки, м		0,12	0,12	0,12	0,12	
	площадь стойки, м <sup>2</sup>		0,011	0,011	0,011	0,011	
	объем стойки, м <sup>3</sup>		0,013	0,013	0,013	0,020	
	количество стоек, шт		1,5	5,5	14	39,0375	
	объем стоек, м <sup>3</sup>		0,020	0,073	0,185	0,773	
	плотность дерева, кг/м <sup>3</sup>		600 [210]				
	вес стоек, кг		11,91	43,67	111,15	463,58	
СПВ27	длина СВП, м	-	-	-	-	6	
	вес 1м СВП, кг					27 [228]	
	вес 1балки, кг					162	
	количество балок, шт					6	
	вес балок, кг					972	
2ГСК-13	вес 1шт без раб. жидкости, кг	-	-	-	-	71,2 [204]	
	объем раб. жидкости, м <sup>3</sup>					0,0006 [204]	
	плотность раб. жидкости, кг/м <sup>3</sup>					1000 [204]	
	масса рабочей жидкости, кг					0,6	
	количество, шт					13	
	вес стоек, кг					933,4	
ЗКД90Т	вес 1шт, кг	9600 [200]	-	-	-	9600 [200]	
	количество, шт	1				2	2
	вес секций, кг	9600				19200	19200
2М87УМП	вес 1шт, кг	-	-	-	-	2380 [204]	
	количество, шт					1	-
	вес секций, кг					2380	-
СПЦ271М	длина линейной части, м	1,5	-	-	-	4,14	
	длина рештака, м	1,5 [229]				1,5 [229]	
	количество рештаков, шт	1				2,76	0,87
	вес рештака, кг	437,4 [230]				437,4 [230]	-
	вес линейной части, кг	437,4				1207,224	379,08
	масса конвейера, кг	169000 [231]				169000 [231]	-



Продолжение таблицы Ф.1

Элемент	Исходные данные	Блок				
		0	1	2	3	4
СПЦ271М	вес привода, кг	-	-	-	-	6760
СП202	длина линейной части, м					6,415
	длина рештака, м					1,5 [204]
	количество рештаков, шт					4,277
	вес рештака, кг	-	-	-	-	248 [232]
	вес линейной части, кг					1060,61
	вес привода, кг					3900 [232]
бутовая полоса	длина, м		1,28			
	ширина, м		0,5			
	высота, м		1,29			
	объем, м <sup>3</sup>	-	0,826	-	-	-
	плотность, кг/м <sup>3</sup>		2277,08			
	вес, кг		1879,96			
газобетонная крепь	длина, м			2		
	ширина, м			0,5		
	высота, м			1,29		
	объем, м <sup>3</sup>	-	-	1,29	-	-
	плотность, кг/м <sup>3</sup>			1200 [233]		
	вес, кг			1548		
блок	длина, м	5,235	1,28	2,6	5,4	8
	ширина, м	1,5	0,5	0,5	4,14	5,5
	высота, м	1,52	1,52	1,52	1,52	2,1
	объем, м <sup>3</sup>	11,936	0,973	1,976	33,981	92,4
	масса, кг	10037,4	1942,58	1692,38	24504,17	36678,29
	объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	840,949	1996,900	856,465	721,111	396,951

Log-файлы для определения эффективности использования тубс с распором в условиях шахты «Щегловская-Глубокая» (модель с лавой  $\text{Ш}_0 = 50\text{м}$ )

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
/prep7	/prep7
et,1,solid45	et,1,solid45
*dim,ex_,array,9	*dim,ex_,array,9
*vfill,ex_(1),data,2.69e10,2.785e10,4.2e8,2.722e10,7.024e6, 63.246e6,11.599e6,9.618e6,8.654e6,	*vfill,ex_(1),data,2.69e10,2.785e10,4.2e8,2.722e10,7.024e6, 171.77e6,11.599e6,9.618e6,8.654e6,
*dim,prxy_,array,9	*dim,prxy_,array,9
*vfill,prxy_(1),data,0.24,0.14,0.08,0.235,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,	*vfill,prxy_(1),data,0.24,0.14,0.08,0.235,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,
*dim,dens_,array,9	*dim,dens_,array,9
*vfill,dens_(1),data,2.7e3,2.7325e3,1.32e3,2.7321e3,840.949, 1996.900,856.465,721.111,396.951,	*vfill,dens_(1),data,2.7e3,2.7325e3,1.32e3,2.7321e3,840.949, 649.154,856.465,721.111,396.951,
*dim,coh,array,4	*dim,coh,array,4
*vfill,coh(1),data,15.51e6,12.5e6,9.9e6,15.97e6,	*vfill,coh(1),data,15.51e6,12.5e6,9.9e6,15.97e6,
*dim,afr,array,4	*dim,afr,array,4
*vfill,afr(1),data,38.98,45,38,39.68,	*vfill,afr(1),data,38.98,45,38,39.68,
*dim,adil,array,4	*dim,adil,array,4
*vfill,adil(1),data,38.98,45,28,39.68,	*vfill,adil(1),data,38.98,45,28,39.68,
*do,i,1,9	*do,i,1,9
mptemp,,,,,,,,	mptemp,,,,,,,,
mptemp,1,0	mptemp,1,0
mpdata,ex,i,,ex_(i)	mpdata,ex,i,,ex_(i)
mpdata,prxy,i,,prxy_(i)	mpdata,prxy,i,,prxy_(i)
mpdata,dens,i,,dens_(i)	mpdata,dens,i,,dens_(i)
*if,i,le,4,then	*if,i,le,4,then
tb,dp,i	tb,dp,i
tbddata,1,coh(i),afr(i),adil(i)	tbddata,1,coh(i),afr(i),adil(i)
*endif	*endif
*enddo	*enddo
*set,ex_	*set,ex_
*set,prxy_	*set,prxy_
*set,dens_	*set,dens_
*set,coh	*set,coh
*set,afr	*set,afr
*set,adil	*set,adil
block,0,64.52,0,25.31,0,-100,	block,0,64.52,0,25.31,0,-100,
block,0,64.52,25.31,29.21,0,-100,	block,0,64.52,25.31,29.21,0,-100,
block,0,64.52,44.01,63.36,0,-100,	block,0,64.52,44.01,63.36,0,-100,
agen,2,2,14,6,,,-43.35,,0	agen,2,2,14,6,,,-43.35,,0
agen,2,2,14,6,,,-51.35,,0	agen,2,2,14,6,,,-51.35,,0
vsba,1,19	vsba,1,19
vsba,4,22	vsba,4,22
vsba,2,20	vsba,2,20
vsba,4,23	vsba,4,23
vsba,3,21	vsba,3,21
vsba,4,24,sepo	vsba,4,24,sepo
agen,2,3,9,6,29.365,,,,,0	agen,2,3,9,6,29.365,,,,,0
agen,2,3,9,6,35.155,,,,,0	agen,2,3,9,6,35.155,,,,,0
agen,2,53,,,,,29.72991,,,,,0	agen,2,53,,,,,29.72991,,,,,0
agen,2,53,,,,,34.79009,,,,,0	agen,2,53,,,,,34.79009,,,,,0
agen,2,17,,,,,29.62913,,,,,0	agen,2,17,,,,,29.62913,,,,,0
agen,2,17,,,,,34.89087,,,,,0	agen,2,17,,,,,34.89087,,,,,0
vsba,1,13	vsba,1,13
vsba,11,25	vsba,11,25
vsba,2,24	vsba,2,24
vsba,13,26	vsba,13,26

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
vsba,10,27	vsba,10,27
vsba,15,28	vsba,15,28
vsba,3,57	vsba,3,57
vsba,17,58	vsba,17,58
block,0,64.52,29.21,30.73,-51.35,-100,	block,0,64.52,29.21,30.73,-51.35,-100,
block,0,64.52,30.73,44.01,-51.35,-100,	block,0,64.52,30.73,44.01,-51.35,-100,
k,,29.365,29.21,-51.35,	k,,29.365,29.21,-51.35,
k,,35.155,29.21,-51.35,	k,,35.155,29.21,-51.35,
k,,29.62913,30.73,-51.35,	k,,29.62913,30.73,-51.35,
k,,34.89087,30.73,-51.35,	k,,34.89087,30.73,-51.35,
k,,29.62913,44.01,-51.35,	k,,29.62913,44.01,-51.35,
k,,34.89087,44.01,-51.35,	k,,34.89087,44.01,-51.35,
lstr,105,107	lstr,105,107
lstr,106,108	lstr,106,108
lstr,107,109	lstr,107,109
lstr,108,110	lstr,108,110
adrag,181,,,,,167	adrag,181,,,,,167
adrag,182,,,,,167	adrag,182,,,,,167
adrag,183,,,,,167	adrag,183,,,,,167
adrag,184,,,,,167	adrag,184,,,,,167
vsba,17,103	vsba,17,103
vsba,21,104	vsba,21,104
vsba,19,105	vsba,19,105
vsba,23,106	vsba,23,106
block,0,64.52,31.31,44.01,-43.35,-51.35,	block,0,64.52,31.31,44.01,-43.35,-51.35,
agen,2,127,,,29.72991,,,,0	agen,2,127,,,29.72991,,,,0
agen,2,127,,,34.79009,,,,0	agen,2,127,,,34.79009,,,,0
vsba,23,129	vsba,23,129
vsba,26,130	vsba,26,130
block,0,29.8,30.73,31.31,-43.35,-51.35,	block,0,29.8,30.73,31.31,-43.35,-51.35,
block,34.7,64.52,30.73,31.31,-43.35,-51.35,	block,34.7,64.52,30.73,31.31,-43.35,-51.35,
block,0,29.8,29.21,30.73,-43.35,-51.35,	block,0,29.8,29.21,30.73,-43.35,-51.35,
block,34.8,39.295,29.21,30.73,-44.765,-50,	block,34.8,39.295,29.21,30.73,-44.765,-50,
block,39.295,64.52,29.21,30.73,-44.765,-50,	block,39.295,64.52,29.21,30.73,-44.765,-50,
block,34.8,64.52,29.21,30.73,-50,-51.35,	block,34.8,64.52,29.21,30.73,-50,-51.35,
k,,29.365,29.21,-43.35,	k,,29.365,29.21,-43.35,
k,,35.155,29.21,-43.35,	k,,35.155,29.21,-43.35,
k,,29.72991,31.31,-43.35,	k,,29.72991,31.31,-43.35,
k,,34.79009,31.31,-43.35,	k,,34.79009,31.31,-43.35,
lstr,183,185	lstr,183,185
lstr,185,186	lstr,185,186
lstr,186,184	lstr,186,184
lstr,184,183	lstr,184,183
al,312,313,314,315	al,312,313,314,315
vext,175,,,,-8,,	vext,175,,,,-8,,
vsbv,29,33,sepo,,keep	vsbv,29,33,sepo,,keep
vsbv,26,33,sepo,,keep	vsbv,26,33,sepo,,keep
vsbv,30,33,sepo,,keep	vsbv,30,33,sepo,,keep
vsbv,32,33,sepo,,keep	vsbv,32,33,sepo,,keep
vsbv,28,33,sepo,,keep	vsbv,28,33,sepo,,keep
block,0,64.52,30.73,44.01,0,-43.35,	block,0,64.52,30.73,44.01,0,-43.35,
agen,2,149,,,18.98,,,,0	agen,2,149,,,18.98,,,,0
agen,2,149,,,45.54,,,,0	agen,2,149,,,45.54,,,,0
vsba,28,187	vsba,28,187
vsba,36,188	vsba,36,188
block,0,29.7,29.21,30.73,0,-43.35,	block,0,29.7,29.21,30.73,0,-43.35,
agen,2,201,,,18.98,,,,0	agen,2,201,,,18.98,,,,0
vsba,36,203	vsba,36,203
block,35.155,36.435,29.21,30.53,0,-37.35,	block,35.155,36.435,29.21,30.73,0,-37.35,
block,36.435,39.295,29.21,30.73,0,-43.35,	block,36.435,39.295,29.21,30.73,0,-43.35,

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
k,,29.365,29.21,0,	k,,29.365,29.21,0,
k,,29.936,32.496,0,	k,,29.936,32.496,0,
k,,32.26,34.45,0,	k,,32.26,34.45,0,
k,,34.584,32.496,0,	k,,34.584,32.496,0,
k,,35.155,29.21,0,	k,,35.155,29.21,0,
lstr,235,236	lstr,235,236
lstr,239,238	lstr,239,238
lstr,239,235	lstr,239,235
larc,236,238,237	larc,236,238,237
al,398,396,399,397	al,398,396,399,397
vext,220,,0,0,-43.35,,,	vext,220,,0,0,-43.35,,,
vsbv,39,41,sepo,,keep	vsbv,39,41,sepo,,keep
vsbv,37,41,sepo	vsbv,37,41,sepo
a,209,260,261,212	a,209,260,261,212
a,252,262,263,254	a,252,262,263,254
vsba,39,197	vsba,39,197
vsba,41,198	vsba,41,198
numcmp,all	numcmp,all
*dim,vatt_,array,42	*dim,vatt_,array,42
*vfill,vatt_(1),data,4,1,1,4,4,4,1,1,1,1,	*vfill,vatt_(1),data,4,1,1,4,4,4,1,1,1,1,
*vfill,vatt_(11),data,1,4,1,1,1,1,3,1,2,3,	*vfill,vatt_(11),data,1,4,1,1,1,1,3,1,2,3,
*vfill,vatt_(21),data,2,3,2,2,2,8,2,2,2,3,	*vfill,vatt_(21),data,2,3,2,2,2,8,2,2,2,3,
*vfill,vatt_(31),data,5,2,9,3,2,6,2,3,2,7,	*vfill,vatt_(31),data,5,2,9,3,2,6,2,3,2,7,
*vfill,vatt_(41),data,3,2,	*vfill,vatt_(41),data,3,2,
*do,i,1,42	*do,i,1,42
vsel,s,,i	vsel,s,,i
vatt,vatt_(i),,1,0	vatt,vatt_(i),,1,0
*enddo	*enddo
vsel,all	vsel,all
*set,vatt_	*set,vatt_
vsweep,24	vsweep,24
vsweep,all	vsweep,all
! создание контактных пар	! создание контактных пар
*dim,mat_1,array,81	*dim,mat_1,array,81
*vfill,mat_1(1),data,1,6,1,1,1,1,1,3,3,3,	*vfill,mat_1(1),data,1,6,1,1,1,1,1,3,3,3,
*vfill,mat_1(11),data,3,9,8,5,3,3,3,6,7,3,	*vfill,mat_1(11),data,3,9,8,5,3,3,3,6,7,3,
*vfill,mat_1(21),data,3,3,3,9,8,5,3,3,3,7,	*vfill,mat_1(21),data,3,3,3,9,8,5,3,3,3,7,
*vfill,mat_1(31),data,2,2,1,1,1,1,1,1,1,1,	*vfill,mat_1(31),data,2,2,1,1,1,1,1,1,1,1,
*vfill,mat_1(41),data,1,9,5,8,9,9,9,5,7,9,	*vfill,mat_1(41),data,1,9,5,8,9,9,9,5,7,9,
*vfill,mat_1(51),data,9,9,3,3,3,3,2,2,2,	*vfill,mat_1(51),data,9,9,3,3,3,3,2,2,2,
*vfill,mat_1(61),data,2,2,2,2,2,2,2,2,2,	*vfill,mat_1(61),data,2,2,2,2,2,2,2,2,2,
*vfill,mat_1(71),data,2,2,2,2,2,1,1,1,1,1,	*vfill,mat_1(71),data,2,2,2,2,2,1,1,1,1,1,
*vfill,mat_1(81),data,1,,,,,,,,,,,,,	*vfill,mat_1(81),data,1,,,,,,,,,,,,,
*dim,asel_1,array,81	*dim,asel_1,array,81
*vfill,asel_1(1),data,147,211,60,67,4,35,31,64,75,10,	*vfill,asel_1(1),data,147,211,60,67,4,35,31,64,75,10,
*vfill,asel_1(11),data,43,43,43,43,43,39,39,39,39,113,	*vfill,asel_1(11),data,43,43,43,43,43,39,39,39,39,113,
*vfill,asel_1(21),data,125,99,153,142,171,171,171,191,210,211,	*vfill,asel_1(21),data,125,99,153,142,171,171,171,191,210,211,
*vfill,asel_1(31),data,133,121,82,93,50,73,54,86,45,45,	*vfill,asel_1(31),data,133,121,82,93,50,73,54,86,45,45,
*vfill,asel_1(41),data,45,123,158,158,115,156,174,143,218,179,	*vfill,asel_1(41),data,45,123,158,158,115,156,174,143,218,179,
*vfill,asel_1(51),data,186,162,203,182,182,108,88,187,188,190,	*vfill,asel_1(51),data,186,162,203,182,182,108,88,187,188,190,
*vfill,asel_1(61),data,190,146,146,199,222,132,139,120,199,222,	*vfill,asel_1(61),data,190,146,146,199,222,132,139,120,199,222,
*vfill,asel_1(71),data,131,112,141,119,98,21,21,21,80,94,	*vfill,asel_1(71),data,131,112,141,119,98,21,21,21,80,94,
*vfill,asel_1(81),data,16,,,,,,,,,,,,,	*vfill,asel_1(81),data,16,,,,,,,,,,,,,
*dim,asel_2,array,81	*dim,asel_2,array,81
*vfill,asel_2(1),data,39,196,65,77,12,41,37,109,117,89,	*vfill,asel_2(1),data,39,196,65,77,12,41,37,109,117,89,

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
*vfill,asel_2(11),data,183,180,137,165,159,206,227,195,216,110,	*vfill,asel_2(11),data,183,180,137,165,159,206,227,195,216,110,
*vfill,asel_2(21),data,118,90,184,178,138,166,160,207,228,217,	*vfill,asel_2(21),data,118,90,184,178,138,166,160,207,228,217,
*vfill,asel_2(31),data,154,172,114,126,100,134,140,122,192,209,	*vfill,asel_2(31),data,154,172,114,126,100,134,140,122,192,209,
*vfill,asel_2(41),data,148,176,163,135,176,177,179,167,213,144,	*vfill,asel_2(41),data,148,176,163,135,176,177,179,167,213,144,
*vfill,asel_2(51),data,177,179,224,204,225,181,157,202,208,132,	*vfill,asel_2(51),data,177,179,224,204,225,181,157,202,208,132,
*vfill,asel_2(61),data,152,120,170,132,120,220,220,220,152,170,	*vfill,asel_2(61),data,152,120,170,132,120,220,220,220,152,170,
*vfill,asel_2(71),data,112,151,123,98,169,71,56,83,72,52,	*vfill,asel_2(71),data,112,151,123,98,169,71,56,83,72,52,
*vfill,asel_2(81),data,84,,,,,,,,,	*vfill,asel_2(81),data,84,,,,,,,,,
*do,i,1,81	*do,i,1,81
*if,i,le,2,then	*if,i,le,2,then
ko_5=0	ko_5=0
*else	*else
ko_5=1	ko_5=1
*endif	*endif
*if,i,ge,53,then	*if,i,ge,53,then
ko_12=5	ko_12=5
*else	*else
ko_12=0	ko_12=0
*endif	*endif
mp,mu,mat_1(i),0.3	mp,mu,mat_1(i),0.3
mat,mat_1(i)	mat,mat_1(i)
r,i+2	r,i+2
real,i+2	real,i+2
et,2*i,170	et,2*i,170
et,2*i+1,174	et,2*i+1,174
keyopt,2*i+1,5,ko_5	keyopt,2*i+1,5,ko_5
keyopt,2*i+1,10,2	keyopt,2*i+1,10,2
keyopt,2*i+1,12,ko_12	keyopt,2*i+1,12,ko_12
asel,s,,,asel_1(i)	asel,s,,,asel_1(i)
type,2*i	type,2*i
nsla,s,1	nsla,s,1
esln,s,0	esln,s,0
esll,u	esll,u
esel,u,ename,,188,189	esel,u,ename,,188,189
esurf	esurf
asel,s,,,asel_2(i)	asel,s,,,asel_2(i)
type,2*i+1	type,2*i+1
nsla,s,1	nsla,s,1
esln,s,0	esln,s,0
esurf	esurf
allsel	allsel
*enddo	*enddo
*set,mat_1	*set,mat_1
*set,asel_1	*set,asel_1
*set,asel_2	*set,asel_2
*do,i,53,81	*do,i,53,81
rmodif,i+2,3,10	rmodif,i+2,3,10
*enddo	*enddo
finish	finish
/sol	/sol
*dim,da_1,array,64	*dim,da_1,array,64
*vfill,da_1(1),data,6,29,33,61,69,3,5,9,11,17,	*vfill,da_1(1),data,6,29,33,61,69,3,5,9,11,17,
*vfill,da_1(11),data,30,32,34,36,38,40,42,44,46,48,	*vfill,da_1(11),data,30,32,34,36,38,40,42,44,46,48,
*vfill,da_1(21),data,49,53,55,95,96,101,102,127,128,149,	*vfill,da_1(21),data,49,53,55,95,96,101,102,127,128,149,

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
*vfill,da_1(31),data,150,155,161,168,173,185,201,1,2,7,	*vfill,da_1(31),data,150,155,161,168,173,185,201,1,2,7,
*vfill,da_1(41),data,8,14,15,59,63,68,76,79,87,92,	*vfill,da_1(41),data,8,14,15,59,63,68,76,79,87,92,
*vfill,da_1(51),data,97,107,111,116,124,146,190,194,199,205	*vfill,da_1(51),data,97,107,111,116,124,146,190,194,199,205
*vfill,da_1(61),data,215,220,222,226,,,,,,	*vfill,da_1(61),data,215,220,222,226,,,,,,
*do,i,1,64	*do,i,1,64
*if,i,le,5,then	*if,i,le,5,then
j='uy'	j='uy'
*elseif,i,ge,38,then	*elseif,i,ge,38,then
j='uz'	j='uz'
*else	*else
j='ux'	j='ux'
*endif	*endif
da,da_1(i),j,	da,da_1(i),j,
*enddo	*enddo
*set,da_1	*set,da_1
acel,0,9.81,0,	acel,0,9.81,0,
sfa,18,1,pres,24.364e6	sfa,18,1,pres,24.364e6
sfa,47,1,pres,24.364e6	sfa,47,1,pres,24.364e6
sfa,51,1,pres,24.364e6	sfa,51,1,pres,24.364e6
sfa,74,1,pres,24.364e6	sfa,74,1,pres,24.364e6
sfa,81,1,pres,24.364e6	sfa,81,1,pres,24.364e6
sfa,85,1,pres,24.364e6	sfa,85,1,pres,24.364e6
sfa,91,1,pres,24.364e6	sfa,91,1,pres,24.364e6
lswrite,1,	lswrite,1,
antype,0	antype,0
nlgeom,1	nlgeom,1
nropt,unsym	nropt,unsym
pstres,1	pstres,1
outres,all,all	outres,all,all
outpr,basic,last	outpr,basic,last
kbc,0	kbc,0
deltim,0.001,0.001,0.05	deltim,0.001,0.001,0.05
time,1	time,1
lssolve,1,1,1,	lssolve,1,1,1,

Log-файлы для определения эффективности использования тубс с распором в  
условиях шахты «Щегловская-Глубокая» (модель с лавой  $\text{Ш}_\Pi = 15\text{м}$ )

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
/prep7	/prep7
et,1,solid45	et,1,solid45
*dim,ex_,array,9	*dim,ex_,array,9
*vfill,ex_(1),data,2.69e10,2.785e10,4.2e8,2.722e10,7.024e6, 63.246e6,11.599e6,9.618e6,8.654e6,	*vfill,ex_(1),data,2.69e10,2.785e10,4.2e8,2.722e10,7.024e6, 171.77e6,11.599e6,9.618e6,8.654e6,
*dim,prxy_,array,9	*dim,prxy_,array,9
*vfill,prxy_(1),data,0.24,0.14,0.08,0.235,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,	*vfill,prxy_(1),data,0.24,0.14,0.08,0.235,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,
*dim,dens_,array,9	*dim,dens_,array,9
*vfill,dens_(1),data,2.7e3,2.7325e3,1.32e3,2.7321e3,840.949, 1996.900,856.465,721.111,396.951,	*vfill,dens_(1),data,2.7e3,2.7325e3,1.32e3,2.7321e3,840.949, 711.292,856.465,721.111,396.951,
*dim,coh,array,4	*dim,coh,array,4
*vfill,coh(1),data,15.51e6,12.5e6,9.9e6,15.97e6,	*vfill,coh(1),data,15.51e6,12.5e6,9.9e6,15.97e6,
*dim,afr,array,4	*dim,afr,array,4
*vfill,afr(1),data,38.98,45,38,39.68,	*vfill,afr(1),data,38.98,45,38,39.68,
*dim,adil,array,4	*dim,adil,array,4
*vfill,adil(1),data,38.98,45,28,39.68,	*vfill,adil(1),data,38.98,45,28,39.68,
*do,i,1,9	*do,i,1,9
mptemp,,,,,,,,	mptemp,,,,,,,,
mptemp,1,0	mptemp,1,0
mpdata,ex,i,,ex_(i)	mpdata,ex,i,,ex_(i)
mpdata,prxy,i,,prxy_(i)	mpdata,prxy,i,,prxy_(i)
mpdata,dens,i,,dens_(i)	mpdata,dens,i,,dens_(i)
*if,i,le,4,then	*if,i,le,4,then
tb,dp,i	tb,dp,i
tbddata,1,coh(i),afr(i),adil(i)	tbddata,1,coh(i),afr(i),adil(i)
*endif	*endif
*enddo	*enddo
*set,ex_	*set,ex_
*set,prxy_	*set,prxy_
*set,dens_	*set,dens_
*set,coh	*set,coh
*set,afr	*set,afr
*set,adil	*set,adil
block,0,64.52,0,25.31,0,-65,	block,0,64.52,0,25.31,0,-65,
block,0,64.52,25.31,29.21,0,-65,	block,0,64.52,25.31,29.21,0,-65,
block,0,64.52,44.01,63.36,0,-65,	block,0,64.52,44.01,63.36,0,-65,
agen,2,2,14,6,,,-8.35,,0	agen,2,2,14,6,,,-8.35,,0
agen,2,2,14,6,,,-16.35,,0	agen,2,2,14,6,,,-16.35,,0
vsba,1,19	vsba,1,19
vsba,4,22	vsba,4,22
vsba,2,20	vsba,2,20
vsba,4,23	vsba,4,23
vsba,3,21	vsba,3,21
vsba,4,24,sepo	vsba,4,24,sepo
agen,2,3,9,6,29.365,,0	agen,2,3,9,6,29.365,,0
agen,2,3,9,6,35.155,,0	agen,2,3,9,6,35.155,,0
agen,2,53,,29.72991,,0	agen,2,53,,29.72991,,0
agen,2,53,,34.79009,,0	agen,2,53,,34.79009,,0
agen,2,17,,29.62913,,0	agen,2,17,,29.62913,,0
agen,2,17,,34.89087,,0	agen,2,17,,34.89087,,0
vsba,1,13	vsba,1,13
vsba,11,25	vsba,11,25
vsba,2,24	vsba,2,24
vsba,13,26	vsba,13,26
vsba,10,27	vsba,10,27
vsba,15,28	vsba,15,28

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
vsba,3,57	vsba,3,57
vsba,17,58	vsba,17,58
block,0,64.52,29.21,30.73,-16.35,-65,	block,0,64.52,29.21,30.73,-16.35,-65,
block,0,64.52,30.73,44.01,-16.35,-65,	block,0,64.52,30.73,44.01,-16.35,-65,
k,,29.365,29.21,-16.35,	k,,29.365,29.21,-16.35,
k,,35.155,29.21,-16.35,	k,,35.155,29.21,-16.35,
k,,29.62913,30.73,-16.35,	k,,29.62913,30.73,-16.35,
k,,34.89087,30.73,-16.35,	k,,34.89087,30.73,-16.35,
k,,29.62913,44.01,-16.35,	k,,29.62913,44.01,-16.35,
k,,34.89087,44.01,-16.35,	k,,34.89087,44.01,-16.35,
lstr,105,107	lstr,105,107
lstr,106,108	lstr,106,108
lstr,107,109	lstr,107,109
lstr,108,110	lstr,108,110
adrag,181,,,,,167	adrag,181,,,,,167
adrag,182,,,,,167	adrag,182,,,,,167
adrag,183,,,,,167	adrag,183,,,,,167
adrag,184,,,,,167	adrag,184,,,,,167
vsba,17,103	vsba,17,103
vsba,21,104	vsba,21,104
vsba,19,105	vsba,19,105
vsba,23,106	vsba,23,106
block,0,64.52,31.31,44.01,-8.35,-16.35,	block,0,64.52,31.31,44.01,-8.35,-16.35,
agen,2,127,,,29.72991,,,,0	agen,2,127,,,29.72991,,,,0
agen,2,127,,,34.79009,,,,0	agen,2,127,,,34.79009,,,,0
vsba,23,129	vsba,23,129
vsba,26,130	vsba,26,130
block,0,29.8,30.73,31.31,-8.35,-16.35,	block,0,29.8,30.73,31.31,-8.35,-16.35,
block,34.7,64.52,30.73,31.31,-8.35,-16.35,	block,34.7,64.52,30.73,31.31,-8.35,-16.35,
block,0,29.8,29.21,30.73,-8.35,-16.35,	block,0,29.8,29.21,30.73,-8.35,-16.35,
block,34.8,39.295,29.21,30.73,-9.765,-15,	block,34.8,39.295,29.21,30.73,-9.765,-15,
block,39.295,64.52,29.21,30.73,-9.765,-15,	block,39.295,64.52,29.21,30.73,-9.765,-15,
block,34.8,64.52,29.21,30.73,-15,-16.35,	block,34.8,64.52,29.21,30.73,-15,-16.35,
k,,29.365,29.21,-8.35,	k,,29.365,29.21,-8.35,
k,,35.155,29.21,-8.35,	k,,35.155,29.21,-8.35,
k,,29.72991,31.31,-8.35,	k,,29.72991,31.31,-8.35,
k,,34.79009,31.31,-8.35,	k,,34.79009,31.31,-8.35,
lstr,183,185	lstr,183,185
lstr,185,186	lstr,185,186
lstr,186,184	lstr,186,184
lstr,184,183	lstr,184,183
al,312,313,314,315	al,312,313,314,315
vext,175,,,,-8,,	vext,175,,,,-8,,
vsbv,29,33,sepo,,keep	vsbv,29,33,sepo,,keep
vsbv,26,33,sepo,,keep	vsbv,26,33,sepo,,keep
vsbv,30,33,sepo,,keep	vsbv,30,33,sepo,,keep
vsbv,32,33,sepo,,keep	vsbv,32,33,sepo,,keep
vsbv,28,33,sepo,,keep	vsbv,28,33,sepo,,keep
block,0,64.52,30.73,44.01,0,-8.35,	block,0,64.52,30.73,44.01,0,-8.35,
agen,2,149,,,18.98,,,,0	agen,2,149,,,18.98,,,,0
agen,2,149,,,45.54,,,,0	agen,2,149,,,45.54,,,,0
vsba,28,187	vsba,28,187
vsba,36,188	vsba,36,188
block,0,29.7,29.21,30.73,0,-8.35,	block,0,29.7,29.21,30.73,0,-8.35,
agen,2,201,,,18.98,,,,0	agen,2,201,,,18.98,,,,0
vsba,36,203	vsba,36,203
block,35.155,36.435,29.21,30.53,0,-2.35,	block,35.155,36.435,29.21,30.73,0,-2.35,
block,36.435,39.295,29.21,30.73,0,-8.35,	block,36.435,39.295,29.21,30.73,0,-8.35,
k,,29.365,29.21,0,	k,,29.365,29.21,0,
k,,29.936,32.496,0,	k,,29.936,32.496,0,



Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
k,,32.26,34.45,0,	k,,32.26,34.45,0,
k,,34.584,32.496,0,	k,,34.584,32.496,0,
k,,35.155,29.21,0,	k,,35.155,29.21,0,
lstr,235,236	lstr,235,236
lstr,239,238	lstr,239,238
lstr,239,235	lstr,239,235
larc,236,238,237	larc,236,238,237
al,398,396,399,397	al,398,396,399,397
vext,220,,0,0,-8.35,,,	vext,220,,0,0,-8.35,,,
vsbv,39,41,sepo,,keep	vsbv,39,41,sepo,,keep
vsbv,37,41,sepo	vsbv,37,41,sepo
a,209,260,261,212	a,209,260,261,212
a,252,262,263,254	a,252,262,263,254
vsba,39,197	vsba,39,197
vsba,41,198	vsba,41,198
numcmp,all	numcmp,all
*dim,vatt_,array,42	*dim,vatt_,array,42
*vfill,vatt_(1),data,4,1,1,4,4,4,1,1,1,1,	*vfill,vatt_(1),data,4,1,1,4,4,4,1,1,1,1,
*vfill,vatt_(11),data,1,4,1,1,1,1,3,1,2,3,	*vfill,vatt_(11),data,1,4,1,1,1,1,3,1,2,3,
*vfill,vatt_(21),data,2,3,2,2,2,8,2,2,2,3,	*vfill,vatt_(21),data,2,3,2,2,2,8,2,2,2,3,
*vfill,vatt_(31),data,5,2,9,3,2,6,2,3,2,7,	*vfill,vatt_(31),data,5,2,9,3,2,6,2,3,2,7,
*vfill,vatt_(41),data,3,2,	*vfill,vatt_(41),data,3,2,
*do,i,1,42	*do,i,1,42
vsel,s,,i	vsel,s,,i
vatt,vatt_(i),,1,0	vatt,vatt_(i),,1,0
*enddo	*enddo
vsel,all	vsel,all
*set,vatt_	*set,vatt_
vsweep,24	vsweep,24
vsweep,all	vsweep,all
! создание контактных пар	! создание контактных пар
*dim,mat_1,array,81	*dim,mat_1,array,81
*vfill,mat_1(1),data,1,6,1,1,1,1,1,3,3,3,	*vfill,mat_1(1),data,1,6,1,1,1,1,1,3,3,3,
*vfill,mat_1(11),data,3,9,8,5,3,3,3,6,7,3,	*vfill,mat_1(11),data,3,9,8,5,3,3,3,6,7,3,
*vfill,mat_1(21),data,3,3,3,9,8,5,3,3,3,7,	*vfill,mat_1(21),data,3,3,3,9,8,5,3,3,3,7,
*vfill,mat_1(31),data,2,2,1,1,1,1,1,1,1,1,	*vfill,mat_1(31),data,2,2,1,1,1,1,1,1,1,1,
*vfill,mat_1(41),data,1,9,5,8,9,9,9,5,7,9,	*vfill,mat_1(41),data,1,9,5,8,9,9,9,5,7,9,
*vfill,mat_1(51),data,9,9,3,3,3,3,2,2,2,	*vfill,mat_1(51),data,9,9,3,3,3,3,2,2,2,
*vfill,mat_1(61),data,2,2,2,2,2,2,2,2,2,	*vfill,mat_1(61),data,2,2,2,2,2,2,2,2,2,
*vfill,mat_1(71),data,2,2,2,2,2,1,1,1,1,1,	*vfill,mat_1(71),data,2,2,2,2,2,1,1,1,1,1,
*vfill,mat_1(81),data,1,,,,,,,,,	*vfill,mat_1(81),data,1,,,,,,,,,
*dim,asel_1,array,81	*dim,asel_1,array,81
*vfill,asel_1(1),data,147,211,60,67,4,35,31,64,75,10,	*vfill,asel_1(1),data,147,211,60,67,4,35,31,64,75,10,
*vfill,asel_1(11),data,43,43,43,43,43,39,39,39,39,113,	*vfill,asel_1(11),data,43,43,43,43,43,39,39,39,39,113,
*vfill,asel_1(21),data,125,99,153,142,171,171,171,191,210,211,	*vfill,asel_1(21),data,125,99,153,142,171,171,171,191,210,211,
*vfill,asel_1(31),data,133,121,82,93,50,73,54,86,45,45,	*vfill,asel_1(31),data,133,121,82,93,50,73,54,86,45,45,
*vfill,asel_1(41),data,45,123,158,158,115,156,174,143,218,179,	*vfill,asel_1(41),data,45,123,158,158,115,156,174,143,218,179,
*vfill,asel_1(51),data,186,162,203,182,182,108,88,187,188,190,	*vfill,asel_1(51),data,186,162,203,182,182,108,88,187,188,190,
*vfill,asel_1(61),data,190,146,146,199,222,132,139,120,199,222,	*vfill,asel_1(61),data,190,146,146,199,222,132,139,120,199,222,
*vfill,asel_1(71),data,131,112,141,119,98,21,21,21,80,94,	*vfill,asel_1(71),data,131,112,141,119,98,21,21,21,80,94,
*vfill,asel_1(81),data,16,,,,,,,,,	*vfill,asel_1(81),data,16,,,,,,,,,
*dim,asel_2,array,81	*dim,asel_2,array,81
*vfill,asel_2(1),data,39,196,65,77,12,41,37,109,117,89,	*vfill,asel_2(1),data,39,196,65,77,12,41,37,109,117,89,
*vfill,asel_2(11),data,183,180,137,165,159,206,227,195,216,110,	*vfill,asel_2(11),data,183,180,137,165,159,206,227,195,216,110,

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
*vfill,asel_2(21),data,118,90,184,178,138,166,160,207,228,217,	*vfill,asel_2(21),data,118,90,184,178,138,166,160,207,228,217,
*vfill,asel_2(31),data,154,172,114,126,100,134,140,122,192,209,	*vfill,asel_2(31),data,154,172,114,126,100,134,140,122,192,209,
*vfill,asel_2(41),data,148,176,163,135,176,177,179,167,213,144,	*vfill,asel_2(41),data,148,176,163,135,176,177,179,167,213,144,
*vfill,asel_2(51),data,177,179,224,204,225,181,157,202,208,132,	*vfill,asel_2(51),data,177,179,224,204,225,181,157,202,208,132,
*vfill,asel_2(61),data,152,120,170,132,120,220,220,220,152,170,	*vfill,asel_2(61),data,152,120,170,132,120,220,220,220,152,170,
*vfill,asel_2(71),data,112,151,123,98,169,71,56,83,72,52,	*vfill,asel_2(71),data,112,151,123,98,169,71,56,83,72,52,
*vfill,asel_2(81),data,84,,,,,,,,,	*vfill,asel_2(81),data,84,,,,,,,,,
*do,i,1,81	*do,i,1,81
*if,i,le,2,then	*if,i,le,2,then
ko_5=0	ko_5=0
*else	*else
ko_5=1	ko_5=1
*endif	*endif
*if,i,ge,53,then	*if,i,ge,53,then
ko_12=5	ko_12=5
*else	*else
ko_12=0	ko_12=0
*endif	*endif
mp,mu,mat_1(i),0.3	mp,mu,mat_1(i),0.3
mat,mat_1(i)	mat,mat_1(i)
r,i+2	r,i+2
real,i+2	real,i+2
et,2*i,170	et,2*i,170
et,2*i+1,174	et,2*i+1,174
keyopt,2*i+1,5,ko_5	keyopt,2*i+1,5,ko_5
keyopt,2*i+1,10,2	keyopt,2*i+1,10,2
keyopt,2*i+1,12,ko_12	keyopt,2*i+1,12,ko_12
asel,s,,,asel_1(i)	asel,s,,,asel_1(i)
type,2*i	type,2*i
nsla,s,1	nsla,s,1
esln,s,0	esln,s,0
esll,u	esll,u
esel,u,ename,,188,189	esel,u,ename,,188,189
esurf	esurf
asel,s,,,asel_2(i)	asel,s,,,asel_2(i)
type,2*i+1	type,2*i+1
nsla,s,1	nsla,s,1
esln,s,0	esln,s,0
esurf	esurf
allsel	allsel
*enddo	*enddo
*set,mat_1	*set,mat_1
*set,asel_1	*set,asel_1
*set,asel_2	*set,asel_2
*do,i,53,81	*do,i,53,81
rmodif,i+2,3,10	rmodif,i+2,3,10
*enddo	*enddo
finish	finish
/sol	/sol
*dim,da_1,array,64	*dim,da_1,array,64
*vfill,da_1(1),data,6,29,33,61,69,3,5,9,11,17,	*vfill,da_1(1),data,6,29,33,61,69,3,5,9,11,17,
*vfill,da_1(11),data,30,32,34,36,38,40,42,44,46,48,	*vfill,da_1(11),data,30,32,34,36,38,40,42,44,46,48,
*vfill,da_1(21),data,49,53,55,95,96,101,102,127,128,149,	*vfill,da_1(21),data,49,53,55,95,96,101,102,127,128,149,
*vfill,da_1(31),data,150,155,161,168,173,185,201,1,2,7,	*vfill,da_1(31),data,150,155,161,168,173,185,201,1,2,7,
*vfill,da_1(41),data,8,14,15,59,63,68,76,79,87,92,	*vfill,da_1(41),data,8,14,15,59,63,68,76,79,87,92,

Шахтный вариант	Предлагаемый вариант
*vfill,da_1(51),data,97,107,111,116,124,146,190,194,199,205	*vfill,da_1(51),data,97,107,111,116,124,146,190,194,199,205
*vfill,da_1(61),data,215,220,222,226,,,,,,	*vfill,da_1(61),data,215,220,222,226,,,,,,
*do,i,1,64	*do,i,1,64
*if,i,le,5,then	*if,i,le,5,then
j='uy'	j='uy'
*elseif,i,ge,38,then	*elseif,i,ge,38,then
j='uz'	j='uz'
*else	*else
j='ux'	j='ux'
*endif	*endif
da,da_1(i),j,	da,da_1(i),j,
*enddo	*enddo
*set,da_1	*set,da_1
acel,0,9.81,0,	acel,0,9.81,0,
sfa,18,1,pres,24.364e6	sfa,18,1,pres,24.364e6
sfa,47,1,pres,24.364e6	sfa,47,1,pres,24.364e6
sfa,51,1,pres,24.364e6	sfa,51,1,pres,24.364e6
sfa,74,1,pres,24.364e6	sfa,74,1,pres,24.364e6
sfa,81,1,pres,24.364e6	sfa,81,1,pres,24.364e6
sfa,85,1,pres,24.364e6	sfa,85,1,pres,24.364e6
sfa,91,1,pres,24.364e6	sfa,91,1,pres,24.364e6
lswrite,1,	lswrite,1,
antype,0	antype,0
nlgeom,1	nlgeom,1
nropt,unsym	nropt,unsym
pstres,1	pstres,1
outres,all,all	outres,all,all
outpr,basic,last	outpr,basic,last
kbc,0	kbc,0
deltim,0.001,0.001,0.05	deltim,0.001,0.001,0.05
time,1	time,1
lssolve,1,1,1,	lssolve,1,1,1,

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ц

## Ц.1 Затраты на материалы

## Ц.1.1 Предлагаемый вариант

Для предлагаемого варианта расчет затрат на материалы произведён по формулам Р.1- Р.18. Формула Р.8 была скорректирована с учетом толщины затяжки  $h_{\text{затяжки}} = 0,11\text{м}$  и высоты бруса  $h_{\text{бруса}} = 0,12\text{м}$ , под которые устанавливается тумба с распором:

$$H_{\text{оп}} = m - h_{\text{затяжки}} - h_{\text{бруса}} - H_{\text{об}}^{\text{после}} \quad (\text{Р.8})$$

Результат расчета сведён в таблицу 5.7.

## Ц.1.2 Шахтный вариант

Для шахтного варианта охранного сооружения (бутовая полоса) расчет затрат на материалы равен 0.

## Ц.2 Затраты на оплату труда

## Ц.2.1 Предлагаемый вариант

Для предлагаемого варианта расчет затрат на оплату труда произведён по формулам Р.25- Р.39. Результат расчета сведен в таблицу 5.7.

## Ц.2.2 Шахтный вариант

Объем породы бутовой полосы на 0,5м выработки равен  $V_{\text{пор}}^{0,5\text{м}} = 0,826\text{м}^3$  (табл. У.1), а на 1м выработки -  $V_{\text{пор}}^{1\text{м}} = 1,651\text{м}^3$ .

Норма выработки на выкладку бутовой полосы расчетная при норме выработки по сборнику  $N_{\text{выр}}^{\text{пор}} = 6,04 \frac{\text{м}^3}{\text{чел} \cdot \text{цикл}}$ ,  $k_1^{\text{пор}} = 0,85$ ,  $k_2^{\text{пор}} = 0,7$  [227]

$$N_{\text{выр расч}}^{\text{пор}} = k_1^{\text{пор}} \cdot k_2^{\text{пор}} \cdot N_{\text{выр}}^{\text{пор}} = 0,85 \cdot 0,7 \cdot 6,04 = 3,59 \frac{\text{м}^3}{\text{чел} \cdot \text{цикл}} \quad (\text{Ц.1})$$

Трудоемкость на выкладку бутовой полосы

$$T_{\text{пор}} = \frac{V_{\text{пор}}^{\text{1м}}}{N_{\text{выр расч}}^{\text{пор}}} = \frac{1,651}{3,59} = 0,459 \frac{\text{чел}}{\text{цикл}} (\text{Ц.2})$$

Удельная стоимость на выкладку бутовой полосы на 1м выработки при тарифной ставке ГРОЗа IV разряда  $T_{\text{ст}} = 172,8 \frac{\text{грн}}{\text{цикл}}$  (цена в феврале 2013 года)

$$C_{\text{уд}}^{\text{пор}} = T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{пор}} = 172,8 \cdot 0,459 = 79,39 \frac{\text{грн}}{\text{м}} \quad (\text{Ц.3})$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ III

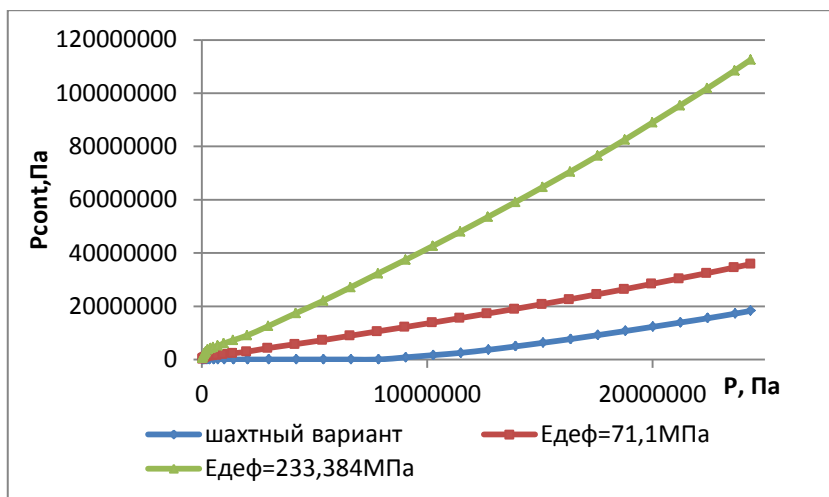


Рисунок Ш.1 - График зависимости давления на контакте «блок 1 – слой 4»  $P_{cont}$ , Па от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па ( $Ш_0 = 50\text{м}$ )

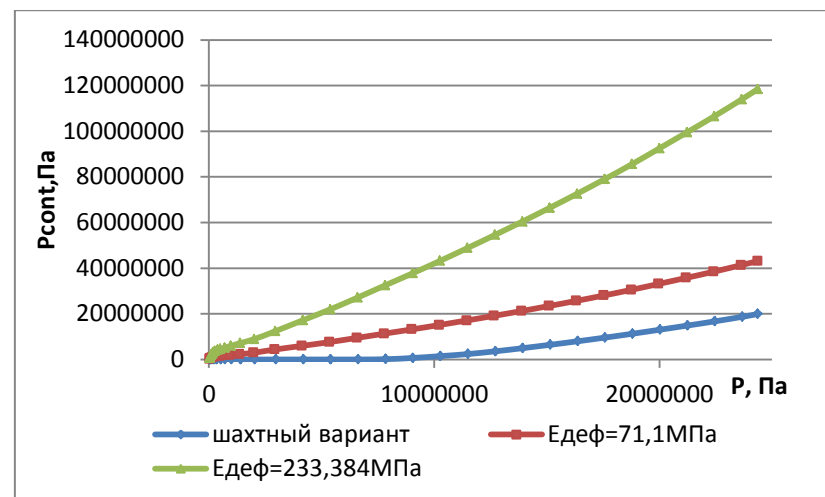


Рисунок Ш.2 - График зависимости давления на контакте «блок 1 – слой 2»  $P_{cont}$ , Па от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па ( $Ш_0 = 50\text{м}$ )

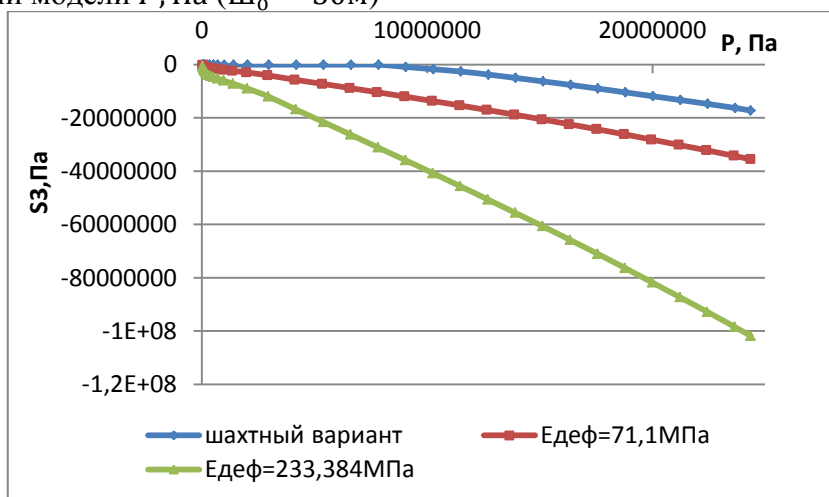


Рисунок Ш.3 - График зависимости сжимающих напряжений в блоке 1  $S_3$ , Па от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па ( $Ш_0 = 50\text{м}$ )

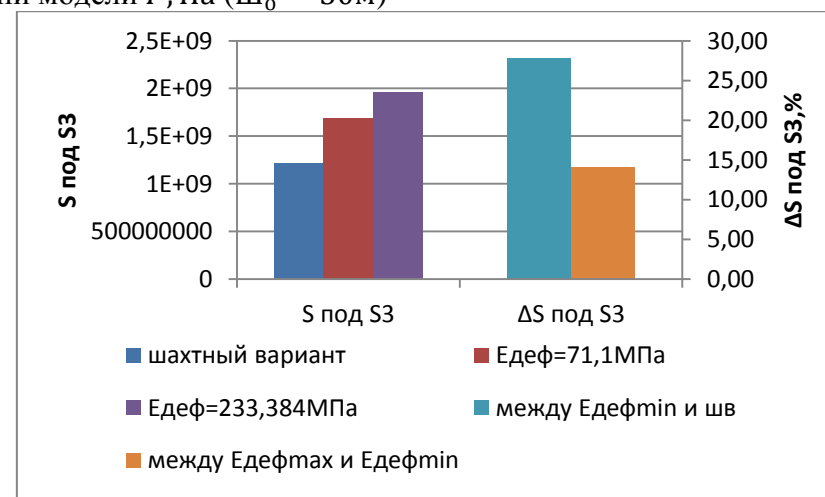


Рисунок Ш.4 - Площадь под кривой  $S_{\text{под } S_3}$  и разность площадей под кривыми  $\Delta S_{\text{под } S_3}$  разрушения от сжатия в блоке 1 ( $Ш_0 = 50\text{м}$ )

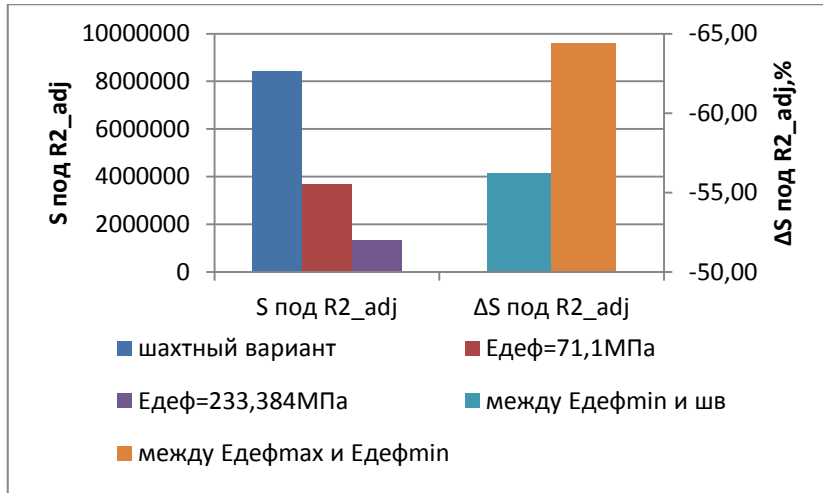


Рисунок Ш.5 - Площадь под кривой  $S_{\text{под } R2\_adj}$  и разность площадей под кривыми  $\Delta S_{\text{под } R2\_adj}$  доли объяснённой дисперсии в блоке 1 ( $\text{Ш}_0 = 50\text{м}$ )

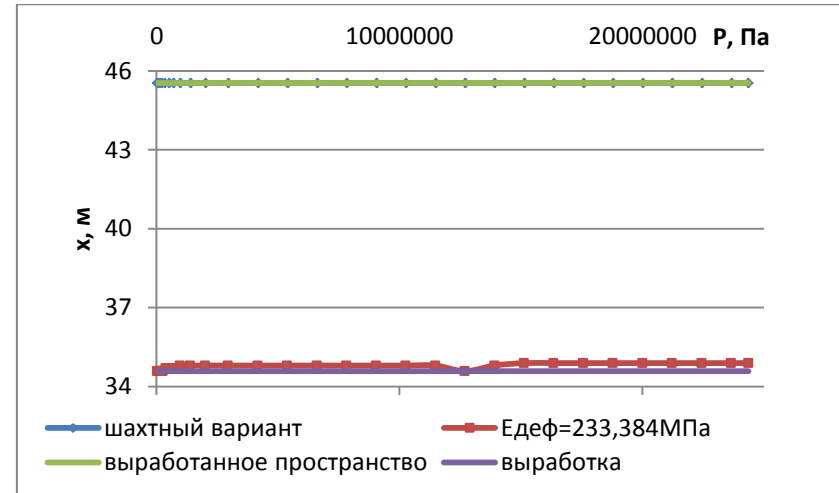


Рисунок Ш.6 - График зависимости  $x, \text{м}$  горизонтальной координаты места расположения сжимающих напряжений в слое 4 от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P, \text{Па}$  ( $\text{Ш}_0 = 50\text{м}$ )

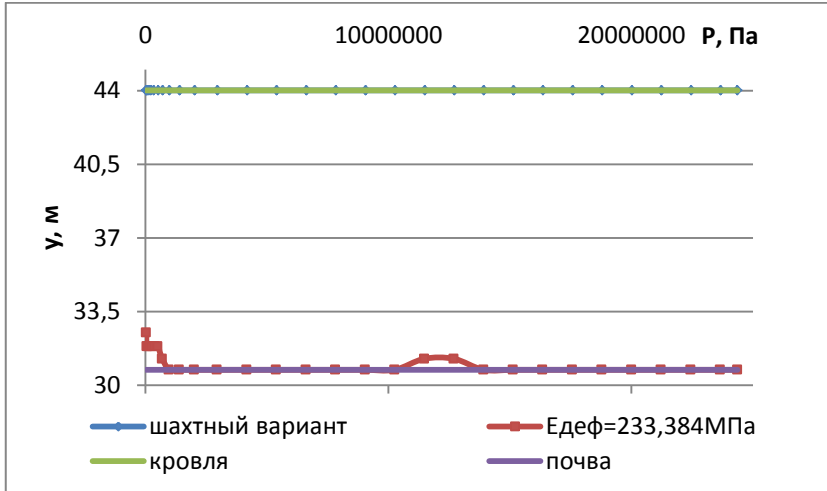


Рисунок Ш.7 - График зависимости  $y, \text{м}$  вертикальной координаты места расположения сжимающих напряжений в слое 4 от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P, \text{Па}$  ( $\text{Ш}_0 = 50\text{м}$ )

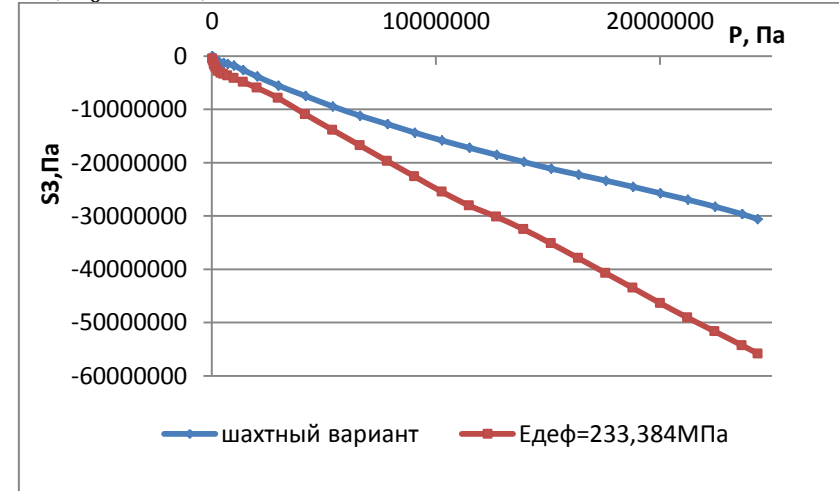


Рисунок Ш.8 - График зависимости сжимающих напряжений в слое 4  $S3, \text{Па}$  от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P, \text{Па}$  ( $\text{Ш}_0 = 50\text{м}$ )

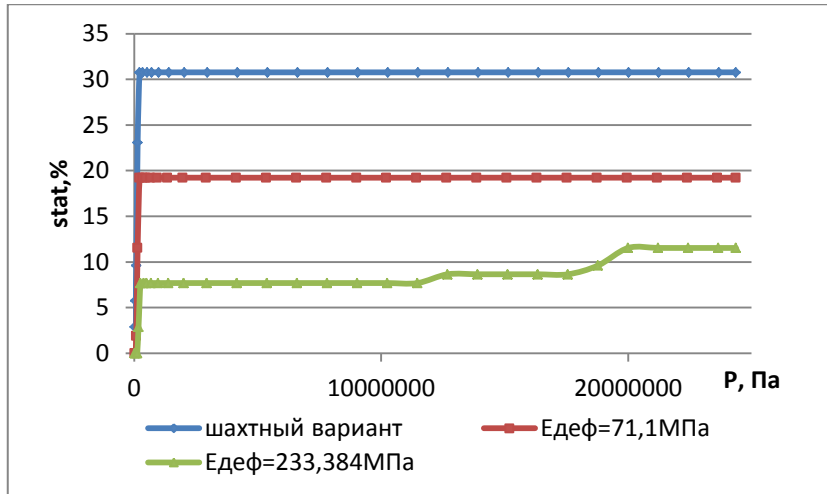


Рисунок Ш.9 - График зависимости количества расслоившихся элементов на контакте «слой 4 – слой 5»  $stat, \%$  от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P, Pa$  ( $Ш_0 = 50m$ )

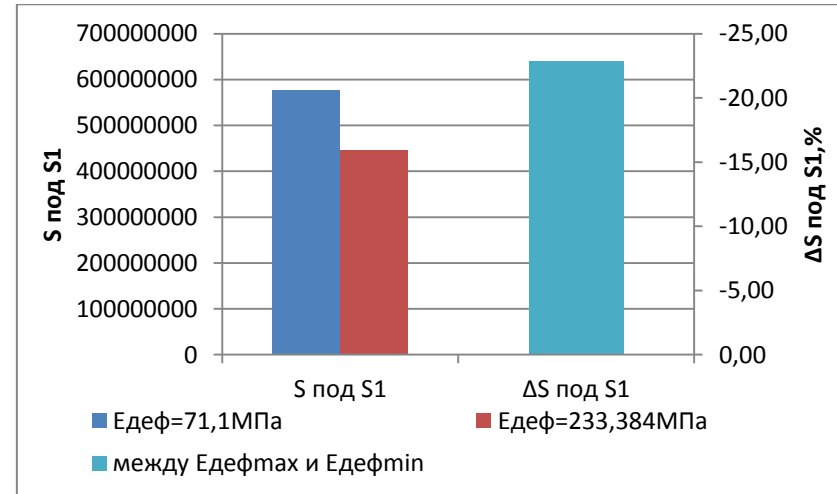


Рисунок Ш.10 - Площадь под кривой  $S_{под S1}$  и разность площадей под кривыми  $\Delta S_{под S1}$  разрушения от растяжения в слое 4 ( $Ш_0 = 50m$ )

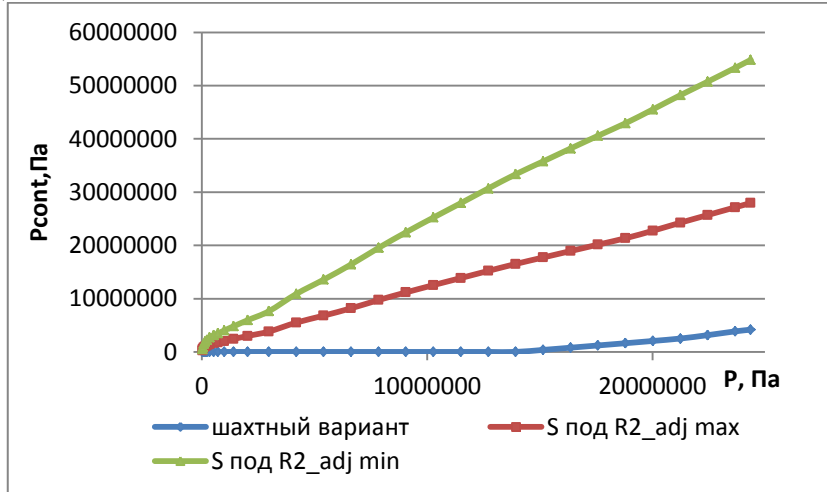


Рисунок Ш.11 - График зависимости давления на контакте «блок 1 – слой 4»  $P_{cont}, Pa$  от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P, Pa$  ( $Ш_{II} = 15m$ )

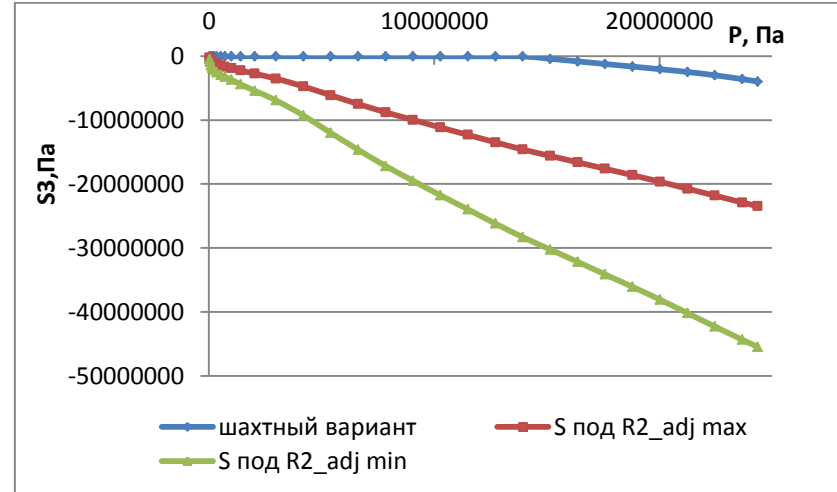


Рисунок Ш.12 - График зависимости сжимающих напряжений в блоке 1  $S_3, Pa$  от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P, Pa$  ( $Ш_{II} = 15m$ )



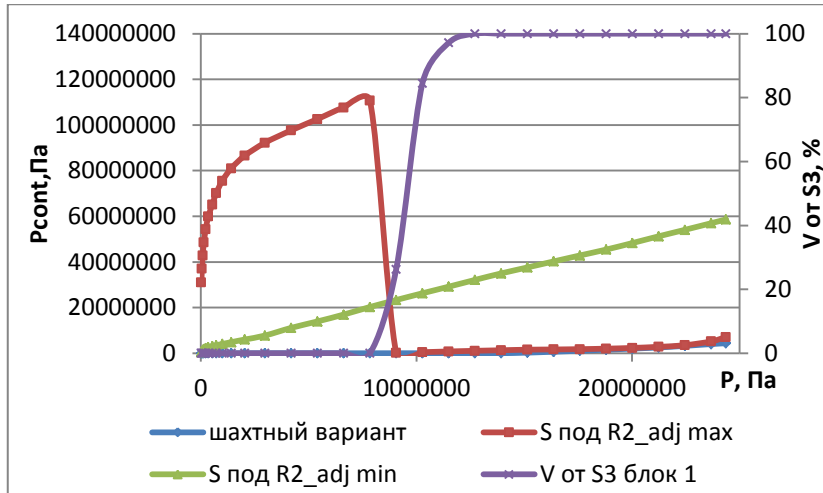


Рисунок Ш.13 - График зависимости давления на контакте «блок 1 – слой 2»  $P_{cont}$ , Па от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па ( $Ш_{п} = 15$ м)

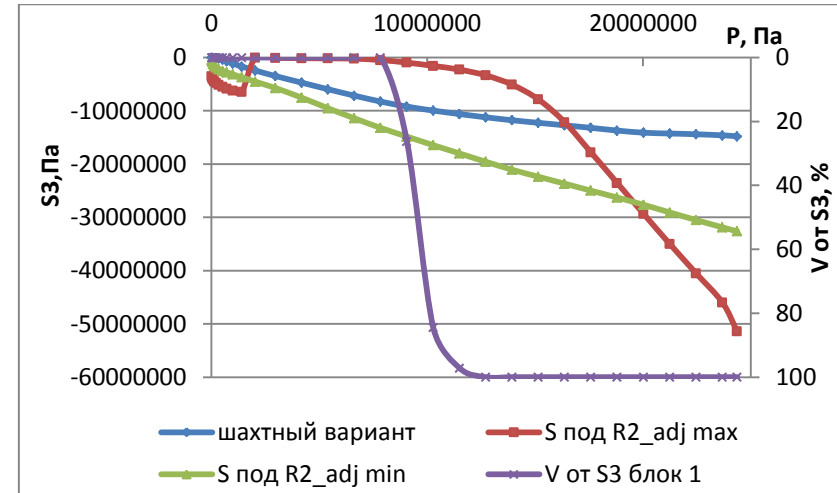


Рисунок Ш.14 - График зависимости сжимающих напряжений в слое 4  $S_3$ , Па от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па ( $Ш_{п} = 15$ м)



Рисунок Ш.15 - График зависимости  $x$ , м горизонтальной координаты места расположения сжимающих напряжений в слое 4 от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па ( $Ш_{п} = 15$ м)

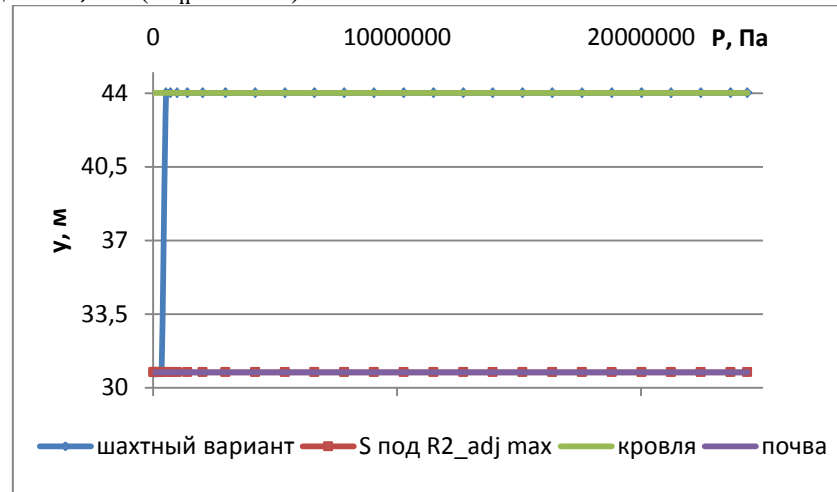


Рисунок Ш.16 - График зависимости  $y$ , м вертикальной координаты места расположения сжимающих напряжений в слое 4 от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P$ , Па ( $Ш_{п} = 15$ м)

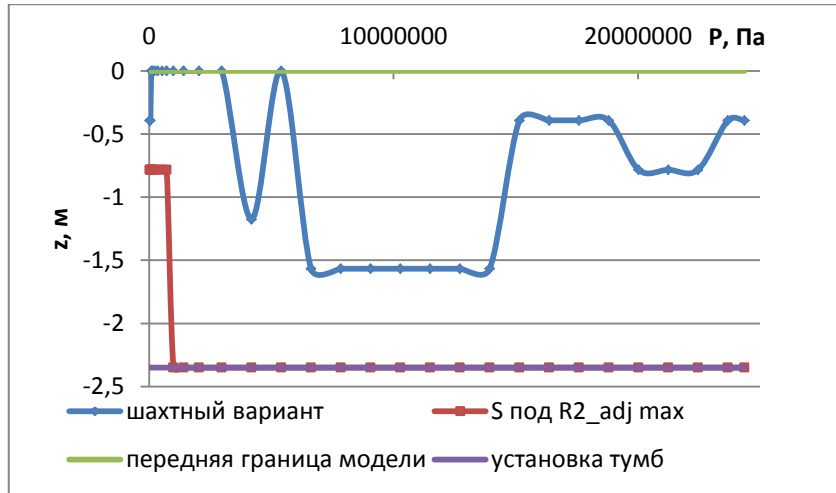


Рисунок Ш.17 - График зависимости  $z, м$  горизонтальной координаты места расположения сжимающих напряжений в блоке 1 от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P, Па$  ( $Ш_{II} = 15м$ )

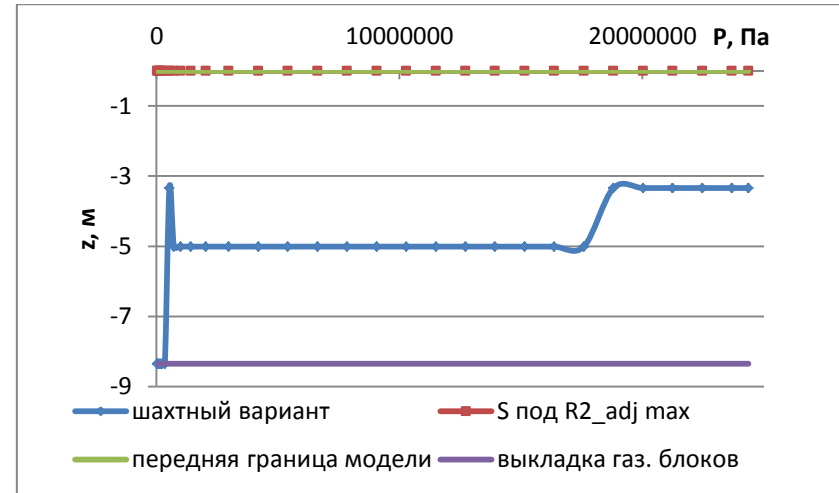


Рисунок Ш.18 - График зависимости  $z, м$  горизонтальной координаты места расположения сжимающих напряжений в слое 4 от давления, прикладываемого в верхней грани модели  $P, Па$  ( $Ш_{II} = 15м$ )

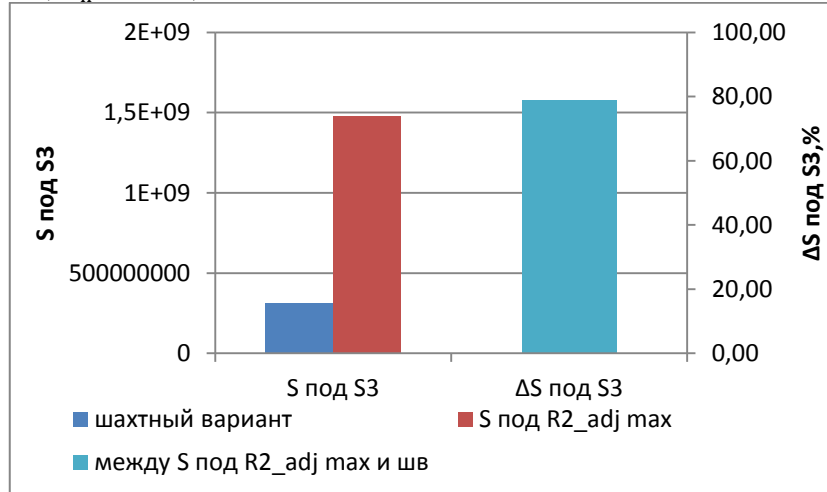


Рисунок Ш.19 - Площадь под кривой  $S_{под S_3}$  и разность площадей под кривыми  $\Delta S_{под S_3}$  разрушения от сжатия в блоке 1 ( $Ш_{II} = 15м$ )

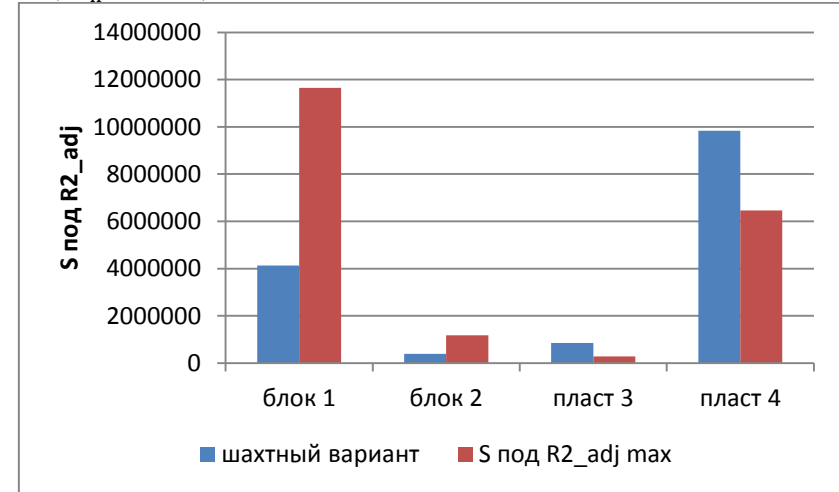


Рисунок Ш.20 - Площадь под кривой доли объяснённой дисперсии  $S_{под R_{adj}^2}$  ( $Ш_{II} = 15м$ )

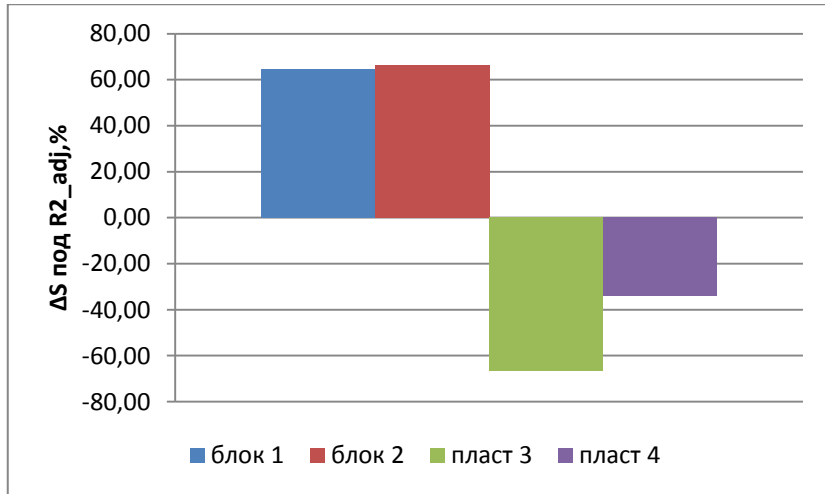


Рисунок Ш.21 - Разность площадей под кривыми доли объяснённой дисперсии  $\Delta S_{\text{под } R_{adj}^2}$  ( $\text{Ш}_\Pi = 15\text{м}$ )

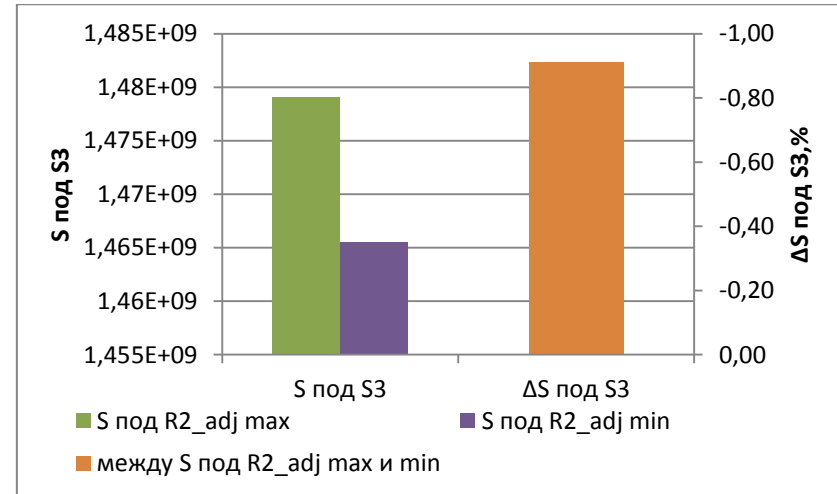


Рисунок Ш.22 - Площадь под кривой  $S_{\text{под } S_3}$  и разность площадей под кривыми  $\Delta S_{\text{под } S_3}$  разрушения от сжатия в блоке 1 ( $\text{Ш}_\Pi = 15\text{м}$ )

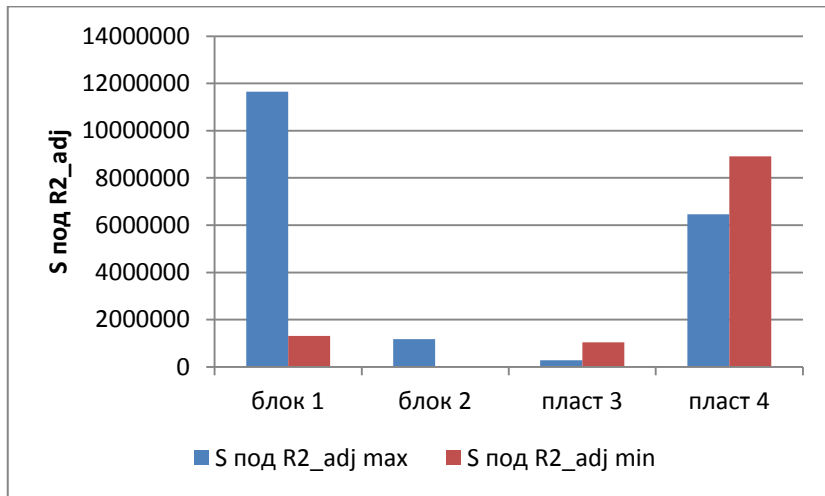


Рисунок Ш.23 - Площадь под кривой доли объяснённой дисперсии  $S_{\text{под } R_{adj}^2}$  ( $\text{Ш}_\Pi = 15\text{м}$ )

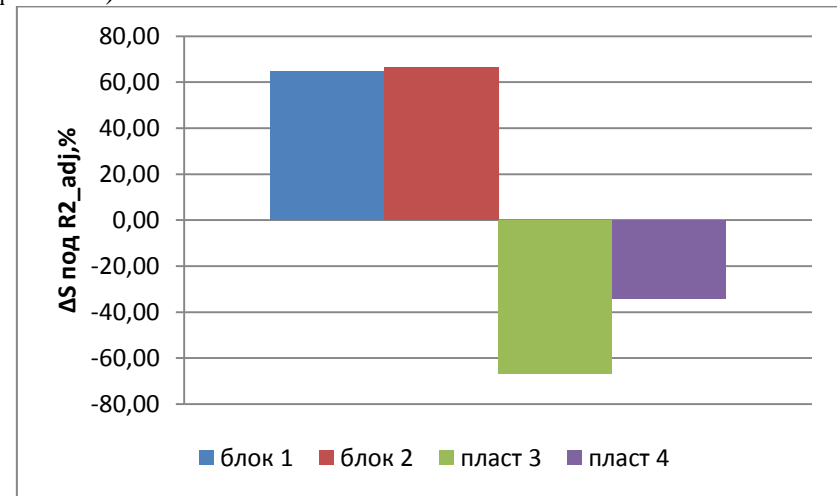


Рисунок Ш.24 - Разность площадей под кривыми доли объяснённой дисперсии  $\Delta S_{\text{под } R_{adj}^2}$  ( $\text{Ш}_\Pi = 15\text{м}$ )



**ДОНЕЦКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

283001, г. Донецк, ул. Артема, 58 тел.: (062) 337-17-33, 335-75-62, факс: (062) 304-12-78  
эл. почта: donntu.info@mail.ru

16.12.2020 № 30-12/237а

На № \_\_\_\_\_

Диссертационный совет Д 01.008.01  
при ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СПРАВКА**

О внедрении результатов исследований диссертационной работы Малышевой Натальи Николаевны на тему: «Обоснование параметров конструкции охранного сооружения в подготовительных выработках», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная) (по отраслям) (технические науки) в научно исследовательские работы ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Результаты диссертационных исследований Малышевой Н.Н., а именно: анализ известных способов охраны выработок, примыкающих к очистному забою, методика определения рациональных параметров охранного сооружения, основанная на критерии, который показывает вклад охранного сооружения в поддержании выработки были использованы при выполнении научно-исследовательских работ Н-11-13 «Совершенствование способов повышения устойчивости горных выработок в условиях глубоких шахт», 2013-2017 гг. (№0113U001787), а также Н10-18 «Усовершенствование способов поддержания выработок глубоких шахт на основе инновационных технологических решений» 2019-наст. время, в которых автор являлся исполнителем.

Проректор по научной работе  
ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,  
д-р техн. наук, профессор

S.V. Борщевский

Начальник научно-исследовательской  
ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,  
д-р техн. наук, профессор

K.N. Лабинский

Декан горного факультета  
канд. техн. наук, доцент

A.N. Корчевский





**ДОНЕЦКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

283001, г. Донецк, ул. Артема, 58 тел.: (062) 337-17-33, 335-75-62, факс: (062) 304-12-78  
эл. почта: donntu.info@mail.ru

16.12.2020 № 30-12/238a

На № \_\_\_\_\_

Диссертационный совет Д 01.008.01  
при ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СПРАВКА**

О внедрении результатов исследований диссертационной работы Малышевой Натальи Николаевны на тему: «Обоснование параметров конструкции охранного сооружения в подготовительных выработках», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная) (по отраслям) (технические науки) в научно исследовательские работы ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» приняты к внедрению в учебный процесс и используются при чтении лекций и проведении практических и лабораторных занятий для подготовки специалистов на кафедре «Разработка месторождений полезных ископаемых» по дисциплине «Процессы очистных работ при подземной разработке пластовых полезных ископаемых», а также «Системы разработки пластовых месторождений полезных ископаемых» следующие разработки, полученные в диссертационной работе Малышевой Н.Н.:

- анализ известных способов охраны выработок, примыкающих к очистному забою;
- конструкция охранного сооружения на основе активного распора разрушенных пород, заключённых в опалубку.

Методика определения рациональных параметров охранного сооружения позволила получить формулы для расчета смещений пород в выработку, которые включены в методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Управление состоянием массива горных пород» для студентов горного направления всех форм обучения. / Сост.: В.Л. Самойлов, С.В. Подкопаев, В.Е. Нефедов, В.И. Стрельников, Н.Н. Малышева. Под ред. Самойлова В.Л. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – 140 с.

Первый проректор

ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

д-р техн. наук, профессор

Начальник учебного отдела

ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

канд. техн. наук, доцент

Зав. кафедрой

д-р техн. наук, профессор



А.А. Каракозов

Б.В. Гавриленко

Ю.А. Петренко