

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

На правах рукописи

СТРОМОНОГОВ АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ БЕЗВЗРЫВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ БЛОКОВ
ИЗВЕСТНЯКА НА КАРБОНАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РУССКОЙ
ПЛАТФОРМЫ**

Специальность 25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
Супрун Валерий Иванович

Москва 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	8
1.1. Области использования известняков в белокаменном зодчестве. Древние технологии извлечения камня.	8
1.2. Современные тенденции в области разработки карбонатных массивов	16
1.3. Цель и задачи исследования	22
2. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ КАРБОНАТНЫХ МАССИВОВ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ	24
2.1. Происхождение известняков	24
2.2. Основные типы известняков Русской платформы	26
2.3. Исследование трещиноватости и блочности карбонатных массивов	28
2.4. Структура и качественные характеристики известняков Русской платформы ...	40
Выводы по главе 2	46
3. ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СОЗДАНИЯ КАРЬЕРОВ ПО ДОБЫЧЕ БЛОЧНОГО ИЗВЕСТНЯКА	48
3.1. Исследование возможности создания специализированных участков (карьеров) по добыче блочных известняков	48
3.2. Типизация горно-геологических условий залегания продуктивных слоев в толще карбонатных массивов	51
3.3. Обоснование перспективных технологий разработки блочного камня	58
3.4. Технологические решения по экранированию продуктивных слоев от воздействия взрывных работ	67
Выводы по главе 3	75
4. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ РАЗБОРКИ КАРБОНАТНЫХ МАССИВОВ	76
4.1. Опыт разборки карбонатных массивов по природным (разностным) слоям	76
4.2. Анализ силовых характеристик выемочного оборудования для разборки массива на геологические отдельности	82
4.3. Производительность экскаватора при безвзрывной разборке карбонатного массива на геологические отдельности.....	92

4.4. Оптимизация расстояния между баровыми выработками для подготовки продуктивного слоя к разборке гидравлическим экскаватором.....	98
4.5. Область использования баровых установок для ослабления межслоевых контактов карбонатного массива	107
Выводы по главе 4	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	110
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	112
ПРИЛОЖЕНИЯ	118
Приложение А. Технологические параметры стрелового фрезерного комбайна КГФ-80 (использован на опытно-экспериментальном участке по выемке блочного известняка на Афанасьевском карьере)	119
Приложение Б. Результаты расчетов удельных затрат гидравлического экскаватора и баровой установки в зависимости от различной степени сцепления межслоевых контактов продуктивного слоя и расстояния между баровыми щелями.....	125
Приложение В. Результаты расчетов по определению оптимального расстояния между баровыми щелями.....	127
Приложение Г. Результаты расчетов по определению области использования технологии по ослаблению продуктивного слоя при помощи баровой установки..	131

ВВЕДЕНИЕ

Анализ отечественного рынка природного камня свидетельствует, что известняки Русской платформы прочно занимают свою нишу в секторе строительных материалов. Это связано, прежде всего, с многовековой историей развития белокаменного зодчества, которое ведет свой отсчет от строительства древних белокаменных сооружений. В наши дни интенсивно восстанавливаются древние монастыри, храмы, загородные усадьбы, исторические здания. Реставрация таких объектов предполагает широкое использование известняков для воссоздания фундаментов, белокаменного декора, карнизов, барельефов, скульптурных композиций. Последние обстоятельства вызывают дефицит качественных известняков для реставрационных и строительных работ, который в значительной степени связан с отсутствием эффективных технологий добычи данного материала на карбонатных месторождениях Русской платформы.

Основными поставщиками известняков (белого камня) Русской платформы являются карьеры, использующие стандартные взрывные способы подготовки горных массивов к выемке. В результате на камнеобрабатывающие производства поступают блоки-негабариты, имеющие созданную взрывом микротрещиноватость и неправильную геометрическую форму. Использование такого сырья ведет к снижению выхода готовой продукции, ухудшению ее качественных характеристик и, как следствие, делает камнеобработку известняков малоэффективным процессом.

Одним из путей решения данной проблемы является применение безвзрывной технологии добычи блоков известняка, основанной на предварительном ослаблении карбонатного массива щелевыми выработками и его последующей разборке по природным разностным слоям. Отсутствие взрывного воздействия на карбонатный массив позволяет повысить качество блоков, поступающих на камнеобработку, что увеличивает выход готовой продукции и, как следствие, улучшает экономические показатели деятельности предприятия.

В связи с вышесказанным обоснование безвзрывной технологии добычи блоков известняка, основанной на разборке карбонатных массивов Русской платформы по природным разностным слоям, является актуальной научной задачей.

Целью работы является обоснование безвзрывной технологии добычи блоков известняка на карбонатных месторождениях Русской платформы, обеспечивающей

максимальное сохранение природных свойств и геометрических параметров геологических отдельностей, извлекаемых из горного массива.

Идея работы заключается в том, что для добычи блоков известняка на карбонатных месторождениях Русской платформы следует использовать безвзрывную технологию, основанную на разборке природных разностных слоев карбонатного массива по плоскостям слоистости и природным эндогенным трещинам.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Безвзрывная технология добычи блоков известняка, реализуемая посредством разборки массива по природным разностным слоям, должна базироваться на учете закономерностей изменения трещиноватости карбонатного массива и прочности межслоевых контактов. Установлено, что частота эндогенных трещин карбонатных массивов Русской платформы, представленных известняками, зависит от мощности продуктивного слоя и определяется степенной функцией $N=f(M)=76,8e^{-4,1M}$ (где N – количество трещин на 10 м протяженности разностного слоя, а M – мощность слоя, м).

2. Оценка горно-геологических условий карбонатных месторождений Русской платформы свидетельствует, что участок безвзрывной технологии добычи блоков известняка должен быть интегрирован в рабочие зоны эксплуатационных карьеров и экранирован от действия взрывных работ посредством создания буферных зон шириной в плане не менее 12 м и по глубине не менее 5 м.

3. Непосредственная разборка слоя блочных известняков гидравлическими экскаваторами целесообразна при силе сцепления межслоевых контактов до 9,5–10,0 т/м². При более высоких значениях сцепления межслоевых контактов продуктивный слой должен предварительно ослабляться баровыми выработками, направленными в крест простирания основной системы межслоевых (эндогенных) трещин массива, с интервалом от 1,6 до 2,0 м.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– установлена зависимость изменения степени трещиноватости продуктивных слоев известняков Русской платформы от их мощности, определяемая выражением $N=f(M)=76,8e^{-4,1M}$ (где N – количество трещин на 10 м протяженности разностного слоя, а M – мощность слоя, м);

- определены условия создания самостоятельных (специализированных) карьеров по разработке блочных известняков;

- разработана безвзрывная технология добычи блоков известняков, сочетающая в себе разборку продуктивных разностных слоев с их предварительным ослаблением баровыми выработками, направленными вкрест простираения основной системы трещин карбонатного массива;

- определена рациональная область использования гидравлических экскаваторов при разборке продуктивных слоев известняка в зависимости от вырывных усилий экскаватора, объема геологических отдельностей и прочности межслоевых контактов.

Научное значение работы состоит в обосновании основных параметров безвзрывной технологии добычи блоков известняка, базирующей на выявленных закономерностях геологического строения карбонатных месторождений Русской платформы.

Практическое значение и реализация результатов исследования заключается в разработке методических рекомендаций по обоснованию параметров безвзрывной технологии добычи блоков известняка на карбонатных месторождениях Русской платформы и в масштабном внедрении данной технологии в практику производства горных работ на Добрятинском, Афанасьевском, Малеевском, Георгиевском и др. месторождениях, что позволило улучшить качество сырья для производства архитектурных изделий, используемых при реставрации в частности исторического центра г. Москвы.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов подтверждаются: статистическим анализом распределения вертикальных эндогенных трещин в продуктивных разностных слоях карбонатных массивов Русской платформы; обобщением теоретических и экспериментальных работ по разборке карбонатных массивов гидравлическими экскаваторами; сходимостью результатов теоретических расчетов с практическими данными, полученными на опытных участках; положительными результатами внедрения безвзрывной технологии добычи блоков известняка на Афанасьевском, Добрятинском, Георгиевском, Баишевском и Малеевском карбонатных месторождениях.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (г. Москва, МГГУ, 2003–

2005 гг.), научных семинарах кафедры «Технология, механизация и организация открытых горных работ» (МГГУ 2003–2005 гг.), технических совещаниях АО «Карбонат» (п. Добрятино, Владимирской обл.) и ООО «Малеевский карьер» (Рязанская обл.), выставке «Интеркамень» (г. Москва, 2013 г.), круглом столе «Россия-Франция. Создание международного реставрационного центра» (г. Москва, НИТУ «МИСиС», 2016 г.).

Публикации. Основное содержание работы изложено в 8 научных статьях, 3 из которых опубликованы в изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России, а также в отдельных разделах монографии «Перспективная техника и технологии для производства открытых горных работ».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников из 83 наименований и 4 приложений, содержит 80 рисунков и 13 таблиц.

Автор выражает благодарность коллективам Проектно-экспертного центра Горного института НИТУ «МИСиС» и кафедры «Геотехнологии освоения недр» НИТУ «МИСиС» за рекомендации, высказанные в ходе подготовки диссертационной работы.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Области использования известняков в белокаменном зодчестве. Древние технологии извлечения камня.

Подмосковье и прилегающие к нему регионы расположены на Восточно-Европейской равнине. Геологическая история этого региона сложилась так, что здесь в приповерхностных частях земли отсутствуют прочные породы и преимущественно развиты различные осадочные образования, среди которых ведущее положение занимают известняки. И вероятно, поэтому в те времена, когда расширялось и крепло Русское государство, и появилась необходимость в добыче материалов для строительства, именно известняк обратил на себя внимание наших предков.

Белый камень — известняк и доломит являются непосредственными «участниками» возникновения и развития русского каменного зодчества. Уже восемьсот лет белокаменные сооружения Владимиро-Суздальской и Московской Руси составляют гордость русской архитектуры. В Подмосковье стимулом к интенсивной добыче белого камня послужило решение Дмитрия Донского окружить Кремлевские постройки каменной стеной. С тех пор Москва получила эпитет «белокаменная» [1, 8].

Русская белокаменная летопись и истоки горного (каменного) дела начинаются со времени постройки церкви Покрова на Нерли (рисунок 1.1), хотя во Владимиро-Суздальском Великом княжестве были и более ранние постройки из белого камня.



Рисунок 1.1 – Церковь Покрова на Нерли (Владимирская обл.)

В отличие от сооружений Киевской Руси, здесь не кирпич-плинфа, а блоки белого камня-известняка, служили главным строительным материалом, что не только позволяло зодчему повысить прочность сооружения, но давало возможность наносить резные украшения на наружную поверхность белокаменных стен, членить их, используя профилировку каменных деталей. Большинство блоков белого камня, из которых велось строительство в период XII начала XIII веков имело размеры примерно 30×40×50 и 60×50×40 см. Они были обычно уложены в стенах в два ряда, промежутки между которыми заполняли бутовым камнем и заливали известковым раствором.

Известняк был отличным материалом для резных изображений, и владимирские «камнесечцы» использовали это свойство наилучшим образом. Прекрасны декоративные белокаменные барельефы и узоры Георгиевского собора в г. Юрьев-Польском Владимирской области – последнего из белокаменных сооружений Древней Руси, построенного до татаро-монгольского нашествия [2]. В настенных барельефах этого Храма отразились образы языческой Руси и сюжеты из Библии (рисунок 1.2). Не только стены собора, но стены притворов, архивольты, колонки порталов, лопатки и приставленные к ним полуколонки, покрыты «растительным» орнаментом.



а



б

Рисунок 1.2 – Резные фигуры на стене Георгиевского собора в Юрьев-Польском

Летопись сообщает, что по повелению митрополита Петра в 1326 г. заложена «первая церковь камня на Москве на площади» – Успенский собор.

Одно из древнейших белокаменных зданий в Кремле – Грановитая палата, выстроенная в 1487-1491 гг. Ее главный фасад со стороны Соборной площади имеет оригинальную белокаменную облицовку из граненых квадров – рустовку [7]. В 1680 г.

оконные проемы палаты были украшены белокаменными резными колонками, увитыми каменной виноградной лозой.

В конце XIX и первой половине XX вв. московские зодчие применяли при строительстве как белые мячковские известняки, так и известняки подольского геологического горизонта. В Москве на улице Воздвиженка находится бывший особняк С. Морозова (рисунок 1.3), построенный в 1895–1899 гг.



Рисунок 1.3 – Особняк Морозова (г. Москва, ул. Воздвиженка)

В облицовке стен особняка использовался известняк подольского геологического горизонта. По способу обработки известняки принадлежат к мягким породам.

При создании скульптуры из известняков учитывалось время добычи блоков. Их выламывали весной и немедленно обрабатывали, так как насыщенный влагой (сырой) известняк значительно легче обрабатывается. До установки скульптура должна высохнуть и только после этого может быть смонтирована на постаменте. Практически было доказано, что скульптура из плотных известняков на воздухе устойчивей, чем мраморная.

О технологии добычи белого камня открытым способом на карьерах в древнее время можно судить по описанию А. Н. Сперанского «Разработки в XVII в. в Ковровском уезде Владимирской области» [6].

Снимали вскрышной слой почвы, «аршин на пять вглубь». Верхний слой «подбивался просеками», затем его поднимали ломами и разбивали ударами молота («кулака») по железным клиньям.

При выемке крупных камней вбивался в слой еловый или сосновый кол «4 вершка толщины» («маяк»), на него одевалось просверленное насквозь бревно («трубка») с долблеными отверстиями. В отверстия вставлялись колья. Каменная плита охватывалась канатами и вытаскивалась из слоя.

Подземным способом известняк разрабатывался в Подмоскovie, начиная с первой половины XIII в. белый камень, добытый в подземных выработках у с. Мячкова, был наиболее качественным и использовался не только в Москве, но и в других городах. Благодаря высокому качеству его было экономически выгодно возить и на далекие расстояния. Имеются сведения, например, о массовой транспортировке плит и блоков мячковского известняка во Владимиро-Суздальский край и даже в Нижний Новгород и Астрахань [5].

Выемка белого камня подземным способом производилась преимущественно по высокому правому берегу р. Пахры, по долине Москвы-реки и по р. Наре.

В старину подземные разработки начинали с рытья ям с поверхности, пока не достигали слоя, сложенного мячковским известняком. Затем по слою пробивали, одновременно ведя добычу камня, горизонтальные выработки – штольни. Штольни проходили горизонтально по слою. Ширина их в забое составляла 7–8 м, а высота достигала 1,9 м. Добытые блоки вытаскивались на поверхность, а отходы размещались в виде забутовки, плотно уложенной по бокам выработки. В центре штольни оставлялся проход шириной не менее 1,4 м, что позволяло транспортировать блоки довольно крупных размеров.

За последние годы возросла потребность в белом камне не только для реставрационных работ, но и для строительства новых сооружений. Постройка сорока двух метрового храма Георгия Победоносца на Поклонной горе в честь Пятидесятилетия победы в Великой Отечественной войне (рисунок 1.4), стены которого облицованы мячковским известняком Афанасьевского месторождения, добытого по предложенной в данной работе технологии, возрождает древнерусскую традицию возведения белокаменных церквей.

В последние годы в строительном секторе Москвы и Санкт-Петербурга сформировалась устойчивая тенденция к индивидуальному проектированию малоэтажных загородных комплексов в стиле «Русская усадьба». Такое строительство предполагает использование в облицовке зданий известняков и доломитов. При этом

отделка фасадов загородных домов предполагает использование как относительно простых форм декора (рисунок 1.5), так и весьма сложных (рисунок 1.6).

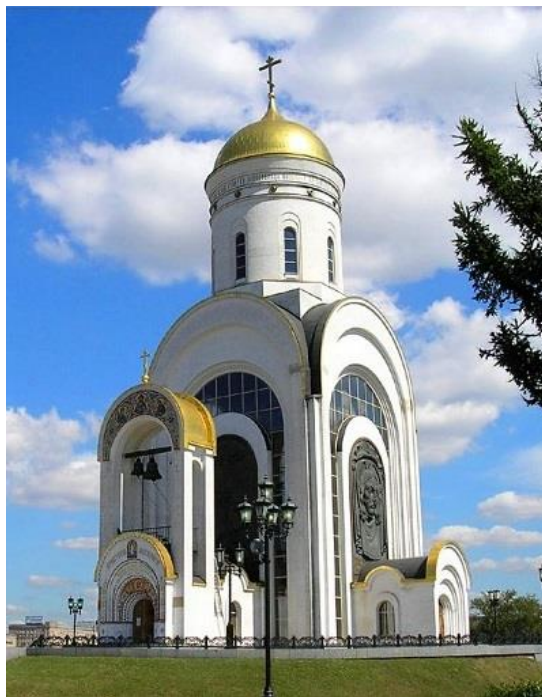


Рисунок 1.4 – Храм Георгия Победоносца на Поклонной горе (г. Москва)



Рисунок 1.5 – Простые формы отделки фасадов белыми известняками



Рисунок 1.6 – Резные и профильные элементы из белого камня в отделке загородного дома

В настоящее время на отечественном рынке блочного камня Центрального региона России существуют организации, которые имеют лидирующие позиции по переработке блоков известняка и доломита. Основные из них представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Объем переработки блоков известняка основными потребителями в центральном регионе России

Наименование организации	Регион	Переработка блоков, м ³ /год
ООО «Акинфий»	Московская обл.	2000
ООО «Енисей»	Владимирская обл.	2600
ООО «ДКЗ»	Владимирская обл.	1600
ООО «КАМ»	Московская обл.	1000
ООО «КАН-Стоун»	Московская обл.	1200
ООО «Лаймстоун»	Ленинградская обл.	2000
ООО «Кром»	Рязанская обл.	1000
Другие предприятия	Европейская часть России	2500
Всего:		13900

Данные таблицы 1.1 свидетельствуют, что при выходе готовой продукции в 25–30 % перечисленные организации выпускают порядка 3500–4200 м³ готовых изделий различного формата. Суммарный оборот «рынка российских известняков» за год составляет 210–250 млн руб. (при средней стоимости готовых изделий примерно 50–60 тыс. руб/м³). На самом деле большинство наиболее крупных Российских потребителей известняков используют ресурсы зарубежных производителей (Турция, Португалия, Тунис, Египет и др.), поэтому суммарный объем рынка известняков в денежном эквиваленте составляет порядка 1,9–2,0 млрд руб. Тем самым данная область рынка достаточно привлекательна. Невозможность увеличения производительности большинством камнеобрабатывающих предприятий России по известнякам и доломитам обусловлено прежде всего отсутствием стабильной сырьевой базы. Большинство камнеобрабатывающих предприятий при распиловке известняков используют так называемые блоки негабариты, которые получают в результате взрывных работ на карьерах карбонатного сырья. В таблице 1.2 отражены положительные и отрицательные стороны использования «взрывных» блоков-негабаритов и блоков получаемых на специализированных участках (карьерах) с применением перспективных технологий производства горных работ.

Таблица 1.2 – Сопоставительная таблица использования в качестве сырья «взрывных» блоков-негабаритов и блоков, добытых по безвзрывным технологиям на специализированном карьере (участке)

Наименование параметров	Факторы	Блоки из развала взорванного массива	Факторы	Блоки добытые на специализированном участке (карьере)
Стоимость блока для потребителя	+	Удельные затраты на 1 м ³ исходного блока известняка наименьшие	–	Стоимость блока выше за счет применения специальной технологии
Заинтересованность поставщика сырья в расширении производства	– +	Карьер получает небольшую доходность и мало заинтересован в увеличении поставок блоков	+	Карьер комплексно осваивает месторождение и может получить существенную дополнительную прибыль

Наименование параметров	Факторы	Блоки из развала взорванного массива	Факторы	Блоки добытые на специализированном участке (карьере)
Качество блоков	–	Значительная часть блоков имеет взрывные микротрещины. Поставщик не может гарантировать долговечность изделий, изготовленных из данного материала. Блоки из нескольких разностных слоев в развалах взорванных пород сложно селектировать	+	Кондиционные разностные слои известняка выделяются в отдельные выемочные зоны. В выемочных зонах селективно разрабатывается каждый разностный слой при постоянном контроле качества. Отсутствуют взрывные микротрещины
Выход готовой продукции	–	~20–27 %	+	до 35–47 %
Стабильность отгрузки (наличия) блоков	–	Зависит от качества технологи взрывных работ. Блоки-негабариты могут отсутствовать. Нарушается поток поставок сырья	+	Участок автономно отрабатывается и не зависит от других технологических процессов

Примечание: «+» – положительные факторы; «–» – отрицательные факторы.

Карьеры по добыче карбонатного сырья обычно продают блоки-негабариты по цене щебня. Тем самым карьер без дополнительных затрат на вторичное взрывание избавляется от негабаритных блоков и получает небольшую прибыль. Потребитель в свою очередь получает сырье по достаточно низким ценам. Однако, в конечном итоге себестоимость, получаемой из этих блоков, продукции возрастает. В первую очередь это обусловлено повышенной трещиноватостью (за счет взрывных макро- и микротрещин). Последнее приводит к снижению выхода и качества готовой продукции, а также увеличению затрат на распиловку.

1.2. Современные тенденции в области разработки карбонатных массивов

Наиболее перспективными для разработки мраморных и карбонатных месторождений являются технологии, базирующиеся на использовании алмазно-канатных установок (рисунок 1.7). Рабочим инструментом данных установок является канатная пила с контуром значительной длины, которая обеспечивает вырезку монолитов природного камня. К достоинствам данной технологии следует отнести незначительную энерго- и металлоемкость, невысокие потери сырья, возможность выполнения пропилов значительной длины. Основными недостатками являются сложность эксплуатации при значительной неоднородности массива и отрицательных температурах, необходимость проведения специальных мероприятий по соблюдению требований техники безопасности [9, 43–47].



а



б

Рисунок 1.7 – Алмазно-канатная установка (а) и ее рабочий инструмент (б, канаты)

Применение алмазно-канатных пил предполагает следующие операции:

- бурение шпуров вдоль границ поверхности планируемого выпиливания;
- ввод в них алмазного каната и после этого, замыкание алмазно-канатной цепи в кольцо.

С помощью движущегося алмазного каната из массива вырезают большие монолиты (объемом до 100–200 м³), которые затем опрокидывают на подошву уступа и разделяют на стандартные блоки. Высоту уступа рекомендуют на практике принимать от 3 до 6 м, длину монолита от 3 до 14 м.

Технологии алмазно-канатного пиления доминируют при отработке мраморных массивов на большинстве месторождений Италии, Франции, Германии, Испании (рисунок 1.8). Данные технологии эффективны при разработке крупных геологических тел типа «гора-залежь» с малотрещиноватыми породами. Альтернативой технологиям, основанным на алмазно-канатном пилении, является использование карьерных камнерезных машин с различными видами рабочих органов.



Рисунок 1.8 – Внешний вид карьера, отрабатываемого с использованием алмазно-канатных пил

На ряде отечественных и зарубежных карьеров применяются баровые камнерезные машины с цепным режущим органом (рисунки 1.9, 1.10). Баровая машина состоит из станины (1), на которой устанавливается моторный блок (2), соединенный с исполнительным органом (4). По периметру бара движется зубчатая цепь (3). Станина перемещается по рельсам. Эти машины предназначены для вырезки из массива блоков камня с прочностью на сжатие до 50–70 МПа [43-47].

Большинство машин являются универсальными, так как могут выполнять вертикальные и горизонтальные пропилы, необходимые для вырезки монолитов. Рабочим инструментом баровой цепи являются твердосплавные резцы. Баровые машины выпускают итальянские и немецкие фирмы Fantini, Pellegrini, Officina meccanica Carrone, Korfmann и др., а также российская фирма ООО «Экспериментальный завод» (г. Реж) [75].

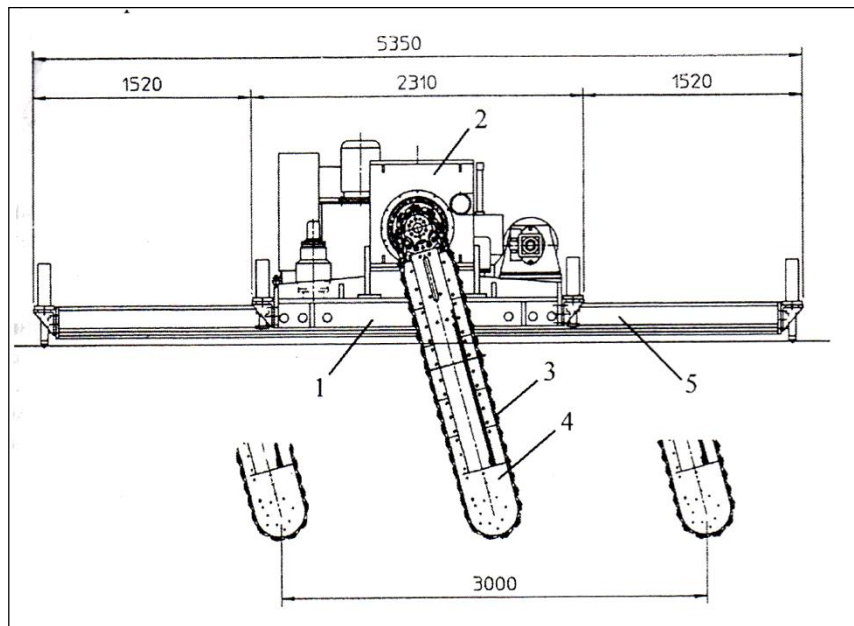


Рисунок 1.9 – Схема баровой машины для открытых горных работ



Рисунок 1.10 – Работа баровой установки на карьере блочного камня

Технология добычи блоков баровой машиной заключается в отделении монолитов от массива по трем взаимно перпендикулярным плоскостям.

В практике горных предприятий Крыма для отработки монолитных массивов известняков, ракушечников, туфов используются камнерезные машины с кольцевыми фрезами конструкции А. М. Столярова СМ-177А, СМ-428 и более современные СМ-028

и СМ-029. Они представляют собой разновидность добычных машин с рабочим инструментом в виде дисковой пилы (рисунок 1.11).

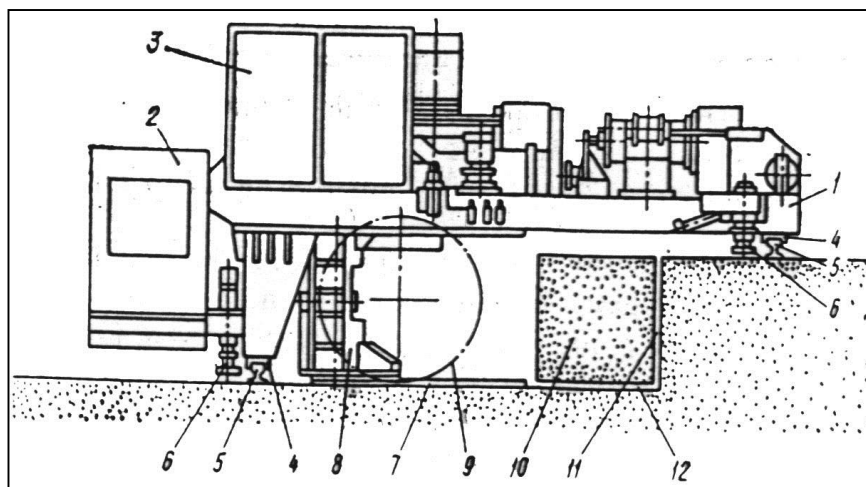


Рисунок 1.11 – Дисковая камнерезная машина

В зависимости от диаметра используемых пил различают машины для вырезки мелких блоков (рисунок 1.12) и машины для вырезки крупных блоков (стенового камня) (рисунок 1.13) [43-47].



Рисунок 1.12 – Вырезка мелких блоков ракушечника камнерезной установкой Бердянского завода на Сакском месторождении (Россия, Крым)

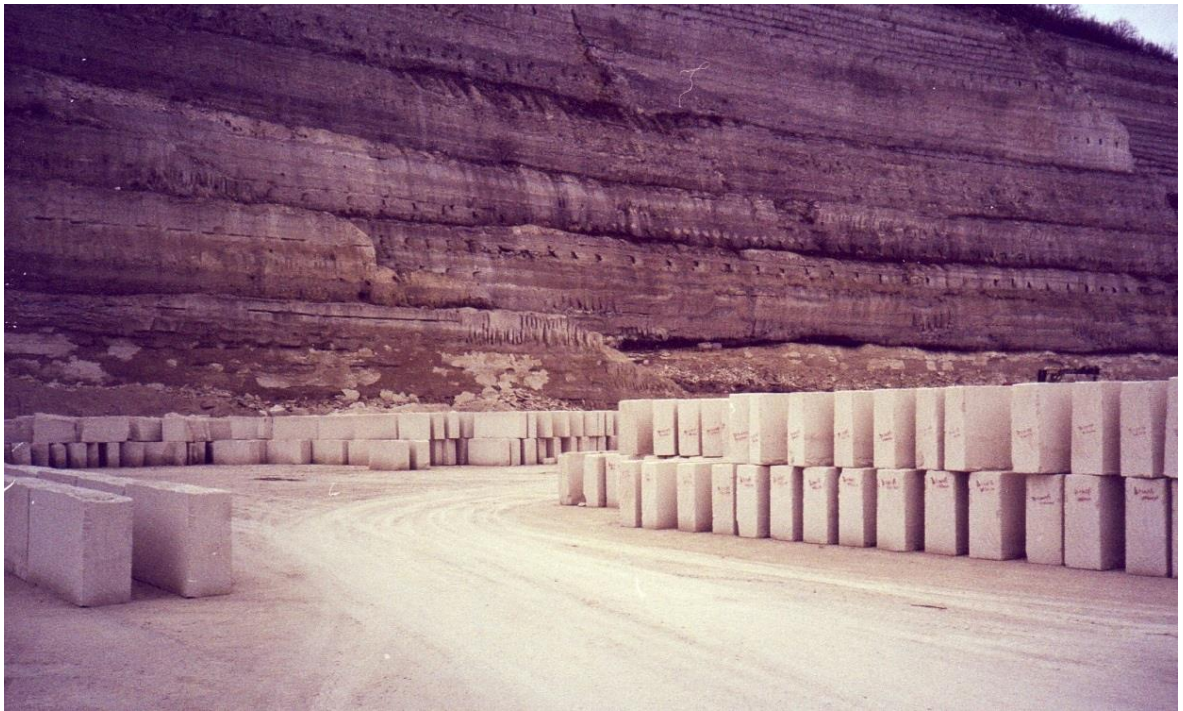


Рисунок 1.13 – Блоки мшанковых известняков, вырезанные из карбонатного массива камнерезными машинами с кольцевыми фрезами СМ-428 и СМР-028

При применении таких машин подготовка к работе каждого нового уступа начинается с проходки разрезной траншеи (для создания первоначального фронта), по флангам которой предварительно проходятся «заходная» и «выходная» траншеи. Данные траншеи необходимы для первоначального завода и вывода кольцевых фрез (рисунок 1.14).

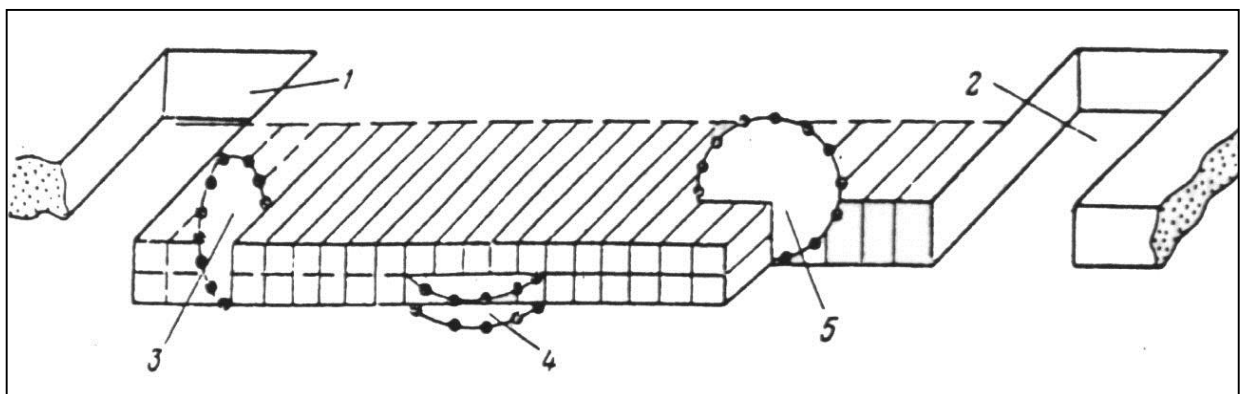


Рисунок 1.14 – Схема очередности пропилов при вырезке камня: 1 – выходная траншея; 2 – заходная траншея; 3, 4, 5 – соответственно диски поперечного, горизонтального и продольного пропилов

Технология вырезки камня машинами с дисковыми пилами разделяется на три основные операции:

1. Горизонтальный уступ оконтуривается по краям фланговыми траншеями. Режущие органы машины (3) поперечно фронту разрезают уступ на блоки, равные по ширине одному из размеров камня.

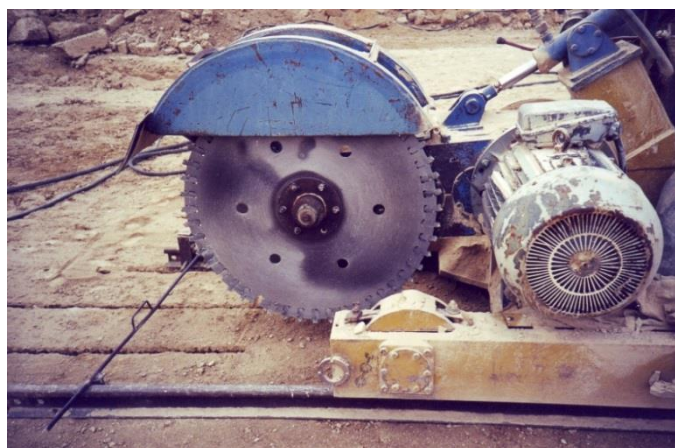
2. Режущими органами машины (4) осуществляются горизонтальные пропилы на всю длину фронта работ уступа.

3. Вертикальный режущий орган машины (5) отделяет блоки от массива.

На месторождениях ракушечников при небольшой мощности горизонтальных разностных слоев и слабом сцеплении с кровлей подстилающих слоев используются специальные установки с вертикальными дисковыми пилами (рисунок 1.15).



а



б

Рисунок 1.15 – Установка с вертикальными пилами, используемая на Сакском месторождении ракушечников (Крым): *а*) вид передней части установки; *б*) вид установки сбоку

1.3. Цель и задачи исследования

Исследованиями вопросов безвзрывной технологии добычи блоков известняка на карбонатных месторождениях занимались многие известные горные инженеры и ученые: К.Н. Трубецкой, Л.И. Звягинцев, Ю.И. Сычев, А.И. Косолапов, Г.Д. Першин, В.П. Сафронов, К.Д. Давтян, О. Б. Синельников, А.С. Чирков, В.Р. Ткач, С.В. Назаренко, В.И. Эйрих, А.М. Викторов, В.И. Супрун, В.С. Кленов, С.З. Чемеров, И.С. Хан, Н.И. Моторный, Г.Л. Левковский, А.П. Бульбашев и другие ученые. [43, 46, 60, 61, 63, 65, 75]

Однако вопросы по изучению качественных характеристик и структуры карбонатных массивов Русской платформы в качестве источников добычи блочного камня для реставрации и строительства, а также разработке технологий, учитывающие такие природные особенности этих массивов как сильно развитую трещиноватость с слоистостью и силы сцепления межслоевых контактов разностных слоев, не нашли достаточного отображения и требуют дополнительного изучения.

В соответствии с поставленной **целью работы**, которая заключается в обоснование безвзрывной технологии добычи блоков известняка на карбонатных месторождениях Русской платформы, обеспечивающей максимальное сохранение природных свойств и геометрических параметров геологических отдельностей, извлекаемых из горного массива, решены следующие задачи:

- изучена геологическая структура карбонатных месторождений Русской платформы и выявлены закономерности распространения эндогенных трещин в зависимости от мощности продуктивных слоев;
- разработаны методические положения по определению блочности карбонатных массивов Русской платформы и выполнена оценка выхода товарных блоков из продуктивных слоев при различных технологиях их извлечения;
- выполнена систематизация массивов по глубине залегания продуктивных слоев, пригодных для разработки на блочный камень, и обоснованы условия создания специализированных карьеров по извлечению блочных известняков;
- определены параметры зоны экранирования продуктивных слоев карбонатного массива от взрывного воздействия при совместной разработке месторождения на блочный камень и другие виды минерального сырья;

- исследована закономерность изменения эксплуатационных затрат на выемку 1 м³ товарных блоков в зависимости от вырывных усилий гидравлического экскаватора, прочности межслоевых контактов и блочности продуктивного слоя;
- выполнены оптимизационные расчеты по определению расстояний между баровыми выработками, предназначенными для ослабления продуктивного слоя перед экскаваторной разборкой;
- разработаны методические рекомендации по обоснованию параметров безвзрывной технологии добычи блоков известняка на карбонатных месторождениях Русской платформы.

2. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ КАРБОНАТНЫХ МАССИВОВ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

2.1. Происхождение известняков

Почти 100 % осадочных пород на континентах составляют три типа пород. Они делятся на глинистые и близкие к ним породы – 58 %, на песчаники – около 22 % и на известняки – около 20 % всех осадочных пород. Известняк состоит, главным образом, из карбоната кальция, преимущественно в форме кальцита. Известняки могут накапливаться в результате либо неорганического химического осаждения кальцита, либо аккумуляции известковых раковин, а также при комбинации этих двух процессов [14].

В образовании известняков играют существенную роль организмы как животных, так и растений. Существовало даже мнение, что известняки – органогенного происхождения, так К. Линней говорил: «*Calx est terra animalium*». Морское и притом органогенное происхождение многих известняков можно считать точно установленным. В морской воде содержится, в общем, ничтожное содержание углекальциевой соли (~0,0191 %). Жизнедеятельность организмов способна превращать сернокислую и хлористую известь в нерастворимый карбонат. Исследование многих морских известняков показывает, что в их строении принимает участие углекальциевая соль неорганического происхождения, т. е. непосредственно выпадающая из раствора.

Большая часть известняков Русской платформы формировалась в мелководных морях. Накопление столь значительных объемов осадков в мелком море оказалось возможным вследствие постепенного прогибания той площади, на которой происходило осадконакопление, или было стимулировано этим прогибанием. Характер осадков частично зависит от степени сбалансированности между скоростью прогибания и скоростью заполнения. В составе, структуре, мощности, распределении по площадям и другим характеристикам карбонатных массивов отражается сложное воздействие многих факторов, из которых тектоническое движение является, вероятно, наиболее существенным. Кальцит, выпадая из морской воды в виде тонкозернистого осадка, смешанного с обломками раковин и продуктами жизнедеятельности донных беспозвоночных, образует карбонатный ил, который за миллионы лет накапливается в виде пластов на огромных площадях. Под колоссальным давлением вышележащих слоев и толщи воды ил постепенно твердеет или, как говорят геологи, литифицируется

и, частично кристаллизуясь, превращается в известняк. Чистые известняки, сформированные в палеозойской эре, накапливались в относительно спокойной, теплой, мелкой воде в акваториях, прилегающих к низменным участкам суши [14]. Известняки могут переходить в глинистые породы, если к карбонатным осадкам добавляется глина, или в известковые песчаники, если к ним добавляется песок. Разновидностями известняка являются мел, известковый туф, мергель. К белому камню в Древней Руси относили также доломит и доломитизированные известняки.

Доломит (Dolomit) представляет собой осадок, состоящий из минерала доломита $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, назван в честь французского минеролога Д. Доломье [3]. Часто это название употребляется только для обозначения минерала, а карбонатную породу с высоким содержанием доломита в зарубежной практике называют доломититом. Термин «доломитит» в отечественной литературе почти не употребляется. Породу с большим содержанием $\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$ в отечественной практике часто называют – доломитом. Такой подход нельзя считать правильным. Название «доломит» (по Ф. Ю. Левинсону-Лессингу [13]) сохраняется за карбонатными породами, которые имеют соотношение соли углекислородной и углемагнезической равное 1:1. Все прочие породы, в которых отношение кальция к магнию выше единицы, являются доломитизированными известняками, т. е. такими в которых часть извести вытеснена магнием.

Из числа разнообразных органогенных известняков морского происхождения следует отметить:

1. Ракушечный известняк или ракушечник, например пантический ракушечник Керченского полуострова, Евпатории, г. Саки и др., состоящий почти целиком из раковин; французы называют его «люмашель»;
2. Фораминиферовые и фузулиновые известняки среднего карбона – данный тип известняков является основным на территории Русской платформы;
3. Нуммулитовые известняки палеогена (Крым);
4. Рифовые известняки – коралловый, мшанковый (Крым);
5. Энкринитовый известняк, состоящий из останков морских лилий.

2.2. Основные типы известняков Русской платформы

Основные структурные и качественные характеристики известняков Русской платформы связаны с их геологическим возрастом. Геологический возраст известняков и доломитов Русской платформы изменяется в пределах палеозойского периода от ярусов среднего отдела Ордовикской системы до верхних ярусов Пермской системы [13]. Наиболее молодые известняки на территории Русской платформы образовались в пермском периоде (Нижегородская область). Более древние распространены в пределах центральной части Ижорского плато, где развиты породы нижнего и среднего ордовика.

Древние доломиты и известняки Ордовикской системы широко использовались при строительстве Санкт-Петербурга. Суммарная мощность толщи Ордовикских известняков составляет 25–35 м. Однако в ее пределах выделяется лишь 2–3 слоя доломита мощностью от 0,4 до 0,7 м пригодных для изготовления изделий и заготовок для реставрационных работ и строительства. Основными месторождениями данного региона являются Елизаветинское, Роговицко-Кикеренское, Каменные Борницы.

В Московской и смежных областях, пригодные для строительства, известняки и доломиты относятся, в основном, к мячковскому и подольскому горизонтам Каменноугольной системы.

В пределах Русской платформы известняки мячковского и подольского горизонтов в Московской и смежных областях приурочены к южным и юго-восточным выходам Московской синеклизы (рисунок 2.1).

По материалам П. Ф. Флоренского и М. Н. Соловьевой мячковские и подольские слои среднего карбона Московской синеклизы выходят там, где реки образовали довольно глубокие долины и прорезали более молодые отложения (рисунок 2.2) [18].

Мячковские известняки обнажаются в долине р. Москвы у сел Тучково, Мячково, Андреевка, Верхнее и Нижнее Тяжино, Зеленая Слобода, вблизи ж.д. станции Пески, по р. Пахре в районе сел Киселиха, Никитское, Сьяново у Подольска, на р. Оке близ Коломны и Озер, а также в Касимовском районе Рязанской области. К северу и северо-востоку от Москвы породы этих горизонтов в составе структуры Московской синеклизы постепенно погружаются под молодые отложения и на поверхности не прослеживаются. Например, в районе Сергиева Посада мячковские известняки находятся на глубине 200 м, а в районе Александрова – 300 м. И только на севере (Архангельская и Вологодская области) известняки мячковского горизонта поднимаются к дневной поверхности и

обнажаются по долине и притокам р. Северной Двины и малых рек. Это выход северных и северо-восточных крыльев Московской синеклизы.

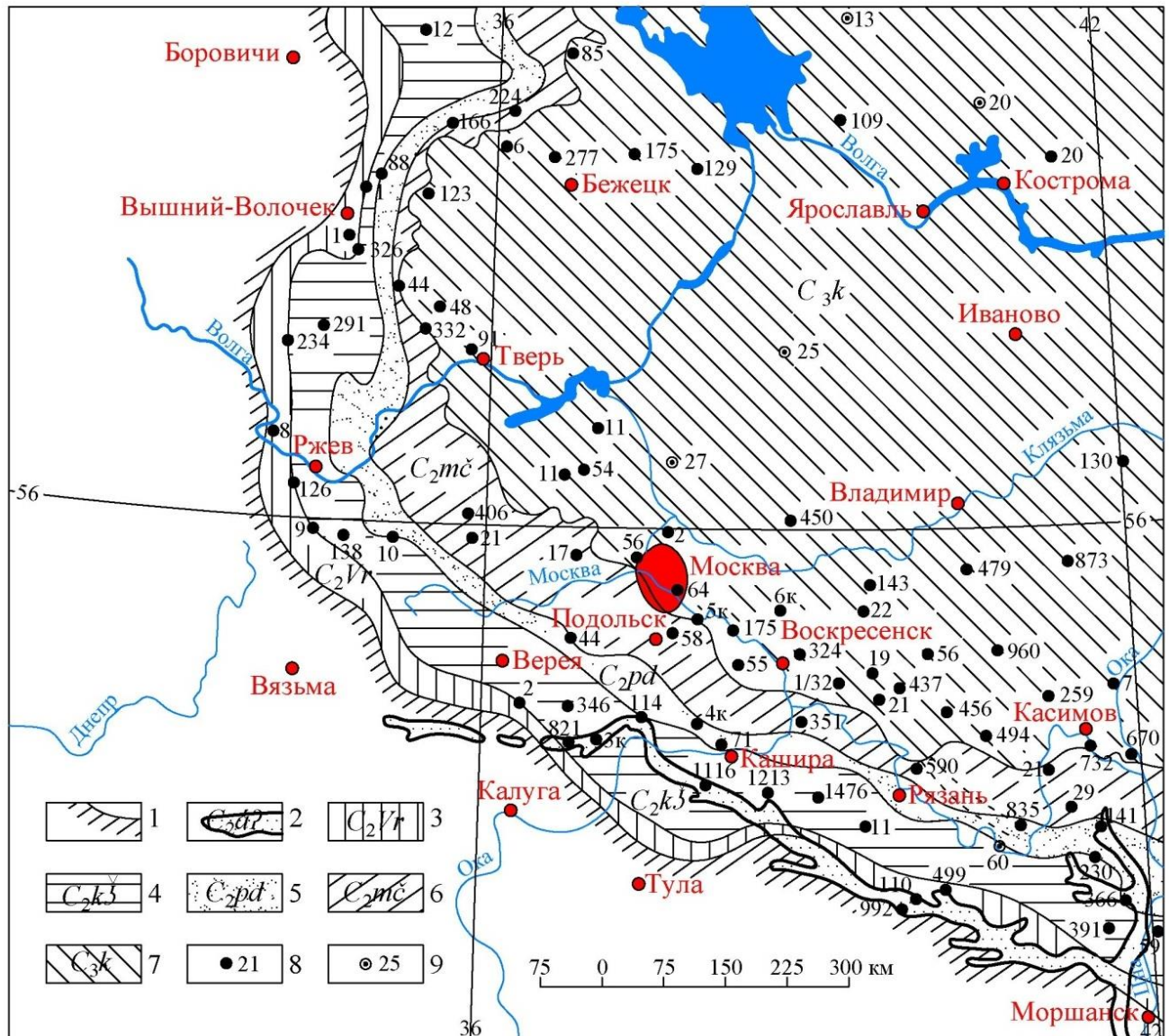


Рисунок 2.1 – Схематическая геологическая карта Московской синеклизы со снятым чехлом послекревякинских и более молодых отложений (составлена по материалам геолого-съёмочных работ М. Х.Махлиной): 1 – граница распространения среднекаменноугольных отложений; 2 – башкирский ярус, азовская серия в палеодолинах со снятым покровом более молодых отложений; 3–6 московский ярус: 3 – верейский горизонт; 4 – каширский горизонт; 5 – подольский горизонт; 6 – мячковский горизонт; 7 – касимовский ярус, кревьякинский горизонт; 8 – опорные и картировочные скважины; 9 – глубокие скважины

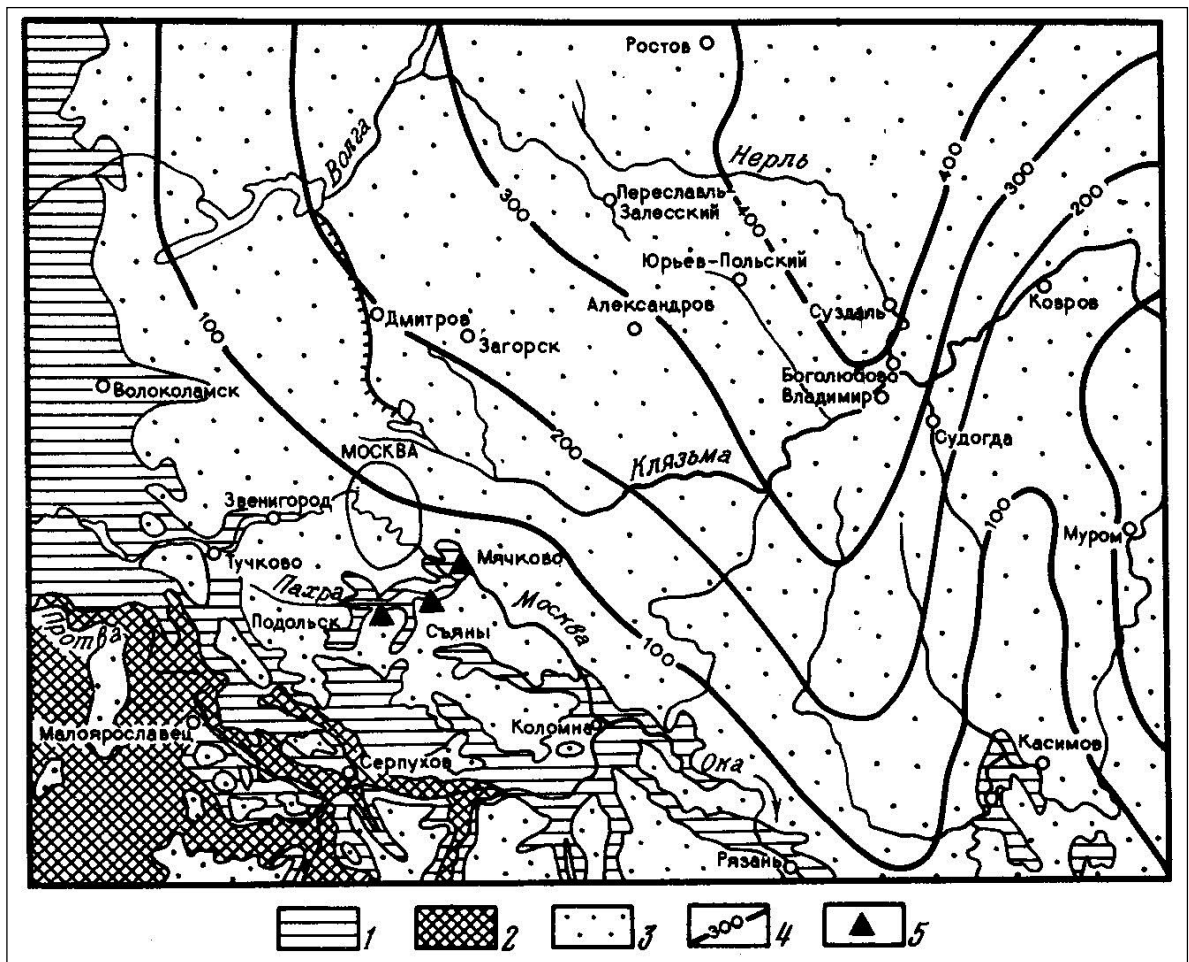


Рисунок 2.2 – Схема распространения среднекаменноугольных отложений в Подмосковье и прилегающих областях (составлена с использованием материалов П. Ф. Флоренского и М. Н. Соловьевой): 1 – выходы на поверхность среднекаменноугольных мячковских и подольских известняков; 2 – области отсутствия мячковских и подольских отложений; 3 – молодые отложения, перекрывающие мячковские и подольские горизонты; 4 – изолинии равных глубин залегания мячковских известняков от поверхности; 5 – важнейшие древние каменоломни мячковского известняка

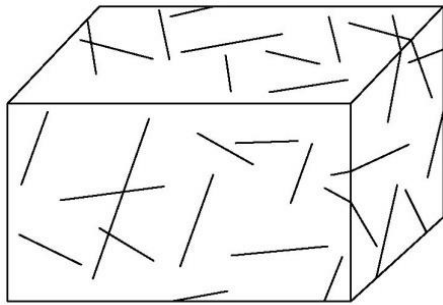
2.3. Исследование трещиноватости и блочности карбонатных массивов

Выбор горных технологий предполагает необходимость достаточно полных знаний о природном массиве, в котором производятся работы. Основными характеристиками массива, доминирующими при выборе горных технологий являются его структура и качественные характеристики слагающих пород.

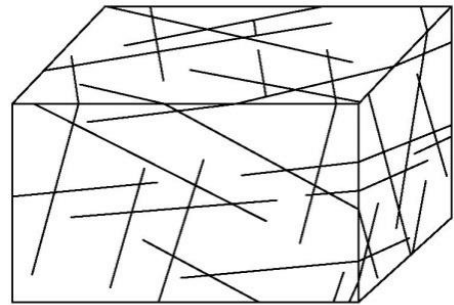
Известны классификации, основанные на физико-механических характеристиках горных пород, как например, классификация Л. А. Шрейнера [28]. Помимо

классификаций, основанных на свойствах образцов, ряд классификаций основаны на свойствах массива, который понимается в них как совокупность твердой фазы и системы трещин. Схематическую описательную классификацию горных массивов по проницаемости твердой фазы системой трещин предложил Л. Мюллер [29], выделивший четыре основных типа массивов (рисунок 2.3):

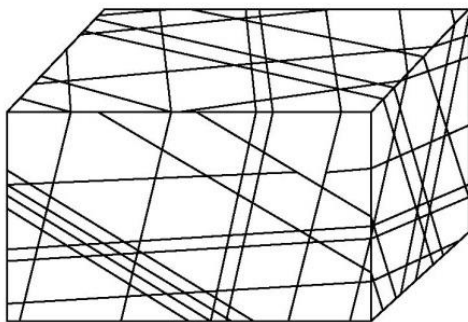
1. Массивы, которые можно считать сплошными (анизотропия в них обусловлена только структурой);
2. Не полностью растрескавшиеся, которые можно считать переходными от типа 1 к типу 3;
3. Полностью трещиноватые, которые можно считать нестабильными массивами (анизотропия в них связана с доминирующими направлениями трещин);
4. Обломочные, несцементированные массивы.



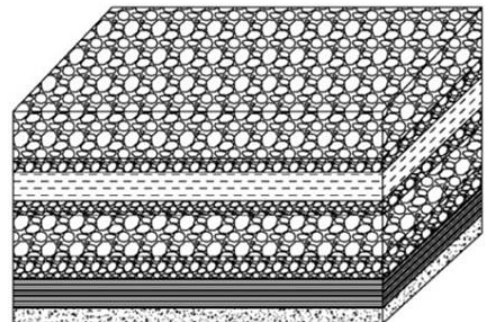
Тип 1



Тип 2



Тип 3



Тип 4

Рисунок 2.3 – Классификация горных массивов (по Л. Мюллеру)

Из всех типов скальных массивов теоретическому исследованию поддается массив первого типа, для которого действительны законы механики сплошной среды.

Карбонатные массивы Русской платформы нельзя в полной мере характеризовать моделями, представленными в классификации Л.Мюллера. Предлагаемая модель

карбонатного массива, характерная для месторождений Русской платформы, представлена на рисунке 2.4.

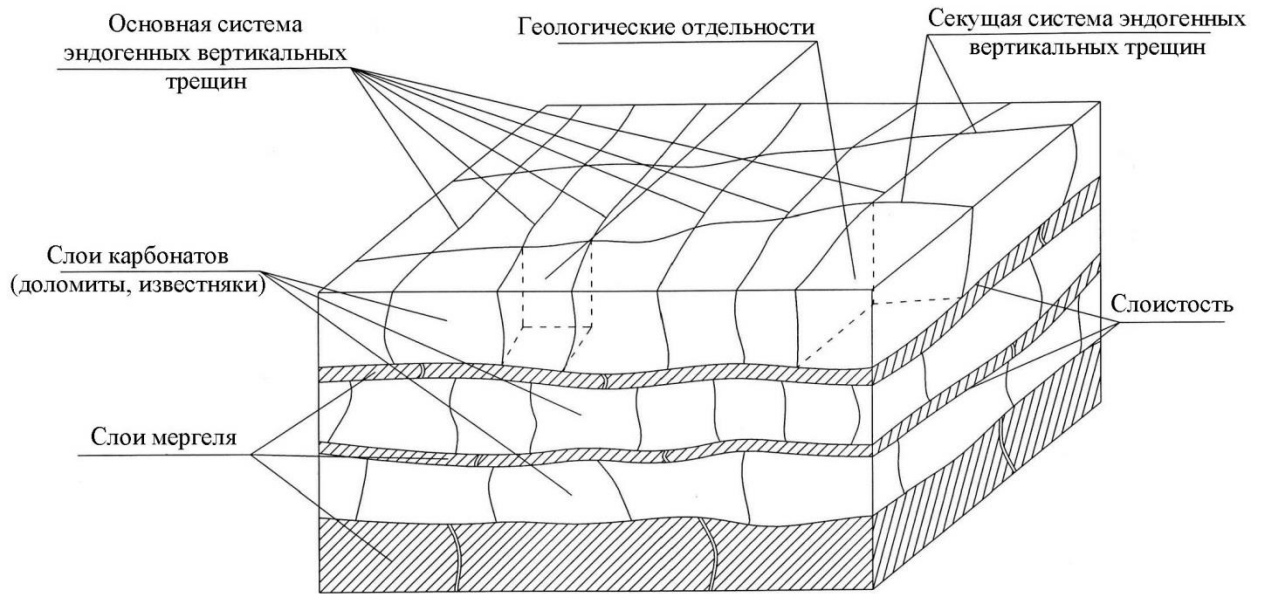


Рисунок 2.4 – Модель карбонатного массива, характеризующая структуру слоев известняка мячковского и подольского геологических горизонтов

Данная модель основана на том, что в карбонатном массиве существует несколько систем вертикальных трещин и слоистость, при этом слои известняков перемежаются прослойками мергелей различной мощности.

Трещины в карбонатных массивах Русской платформы составляют сложные пространственные сети (рисунки 2.5, 2.6). Они возникают из-за уменьшения объема горных пород при диагенезе осадков. Эти трещины носят название эндогенных, или первичных, трещин усыхания или трещин отдельности. Такие трещины располагаются перпендикулярно к слоистости и образуют несколько систем, предопределяющих в совокупности со слоистостью, разделение массива на геологические отдельности определенных размеров (рисунок 2.7). Эндогенные трещины обычно не выходят за кровлю и почву разностного слоя (пласта) [4, 22, 23, 24].

Смежные геологические слои часто представлены разнотипными (по составу и механическим характеристикам) разностями известняков. Последнее обстоятельство обусловлено наличием прослоек сильнотрещиноватых известняков и мергелей. Слоистость – наиболее характерная особенность карбонатных массивов Русской платформы. Она образуется в результате чередования материала неодинаковой размерности или в результате перерывов в накоплении осадков.



Рисунок 2.5 – Внешний вид кровли слоя мячковского известняка (средний карбон) с четко различимыми выходами эндогенных вертикальных трещин (масштаб задан геологическим молотком, размер которого $L=320$ мм)

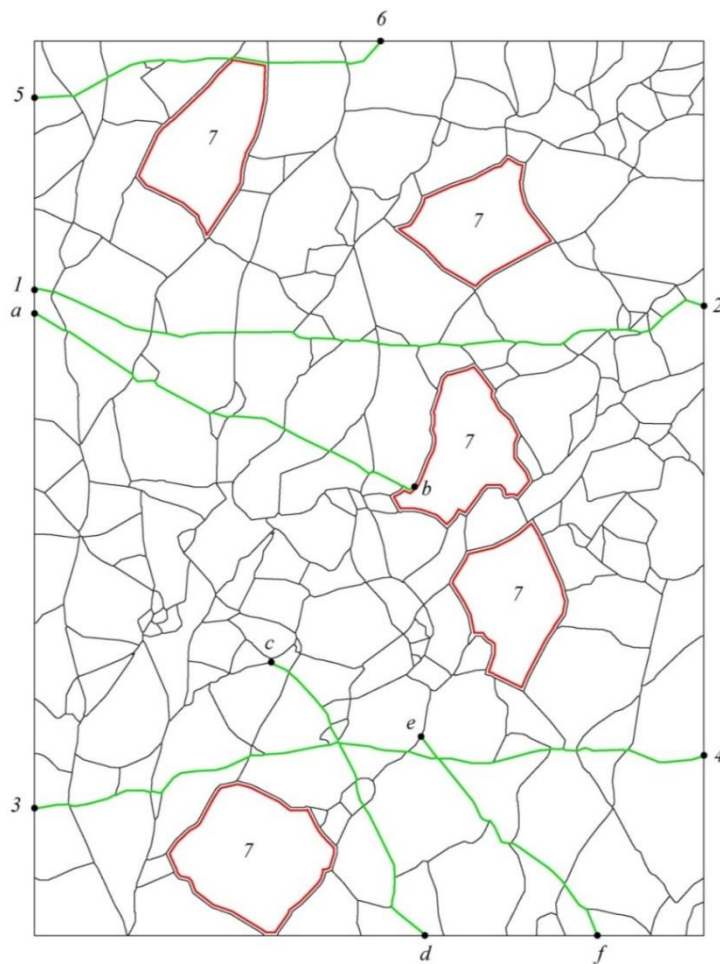


Рисунок 2.6 – Схема вертикальных эндогенных трещин, разделяющих разностный слой карбонатов на геологические отдельныености: 1–2, 3–4, 5–6 – трещины первичной системы; 7 – крупные геологические отдельныености; a–b, c–d, e–f – трещины других систем

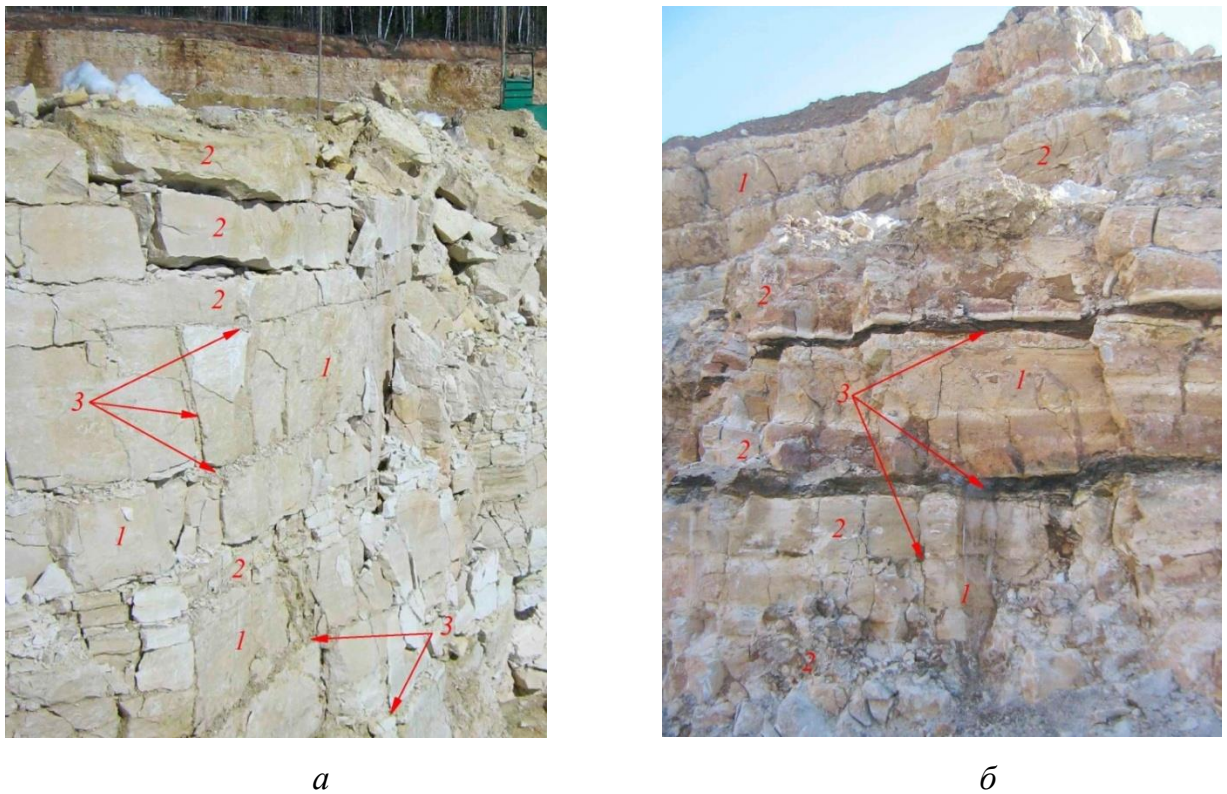


Рисунок 2.7 – Внешний вид карбонатных массивов Добрытинского (а) и Восточно-Берниковского (б) месторождений: 1 – мощные разностные слои известняка; 2 – разностные слои, имеющие небольшую мощность; 3 – мергелевые прослойки, заполняющие межслоевые контакты (контуры слоистости)

Разница в характере слоев может быть обусловлена изменением течений, многолетними климатическими изменениями, колебаниями уровня моря, существенными переменами в составе и богатстве органического мира. Мощность отдельных слоев в карбонатных массивах Русской платформы невелика. Она может изменяться от нескольких сантиметров до 120 см (рисунок 2.8). Следует принять во внимание, что в отличие от мячковских и подольских известняков Русской платформы коралловые, мшанковые, нуммулитовые и рифовые известняки Крыма, Европы, Северного Кавказа образовывались в сильно подвижной воде, поэтому они почти лишены слоистости и представлены сплошными массивами.

Частота и выраженность эндогенных трещин связаны с мощностью разностных слоев. В известняках одного геологического возраста частота трещин уменьшается с увеличением мощности слоя. Элементы залегания трещин в известняках хорошо выдерживаются. Для эндогенных трещин определяются следующие показатели: азимут

простираения, угол падения плоскости трещин, ширину (раскрытие) трещин, расстояние между трещинами.

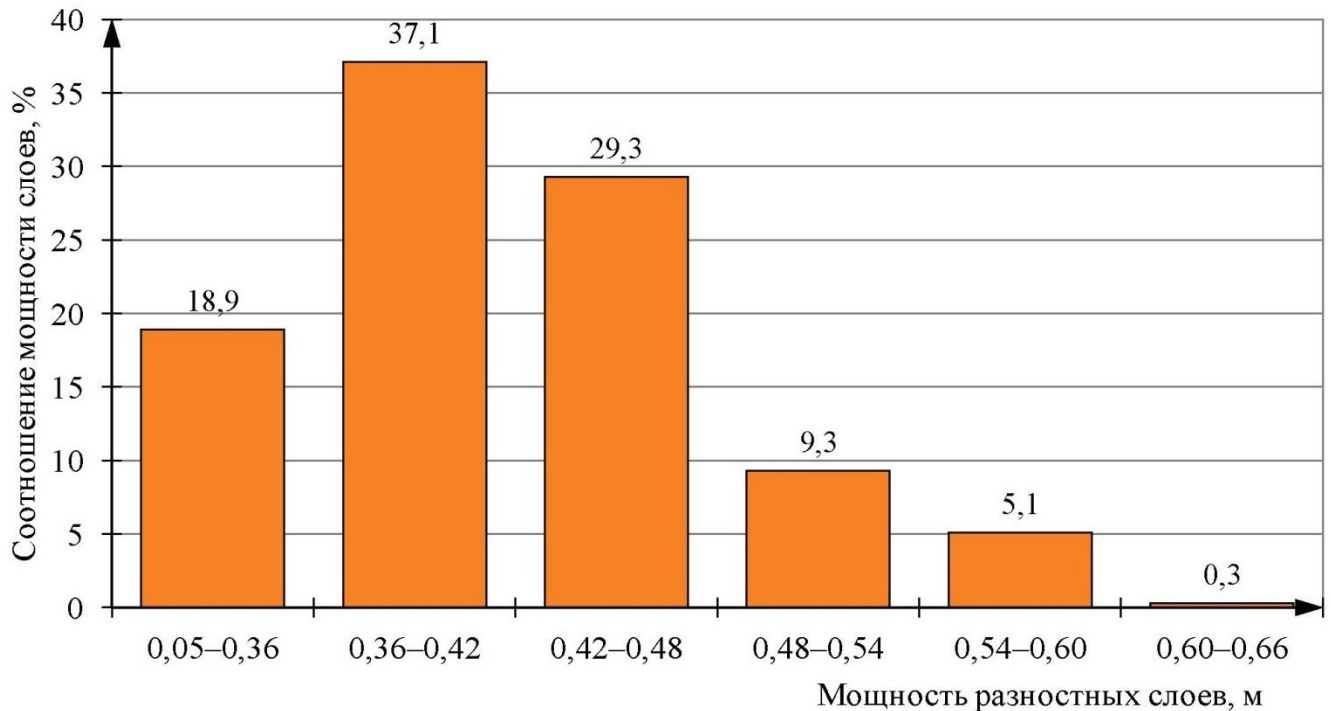


Рисунок 2.8 – Изменение мощности слоев мячковских известняков

Для оценки блочности массива существуют два самостоятельных метода [47, 82]:

1. Изучение расположения трещин, на основе массовых замеров трещиноватости проводимых на геологических обнажениях равномерно по изучаемой площади;
2. Анализ кернового материала при разведке месторождений. При этом определяются: процент выхода керна, длина получаемых плашек, изменение характера трещин в кернах.

Проведение полевых замеров трещин на карбонатных месторождениях по обнажениям является непростой задачей. Прежде всего потому что на действующих карьерах эти обнажения нарушены взрывными работами, «спровоцировавшими» образование сети техногенные трещин.

Наличие современной техники для пиления карбонатных массивов открывает возможность прямого (а не косвенного) измерения параметров эндогенных трещин. Это позволяет получить точную морфологию эндогенных трещин, а также определить зоны их слияния (рисунок 2.9).

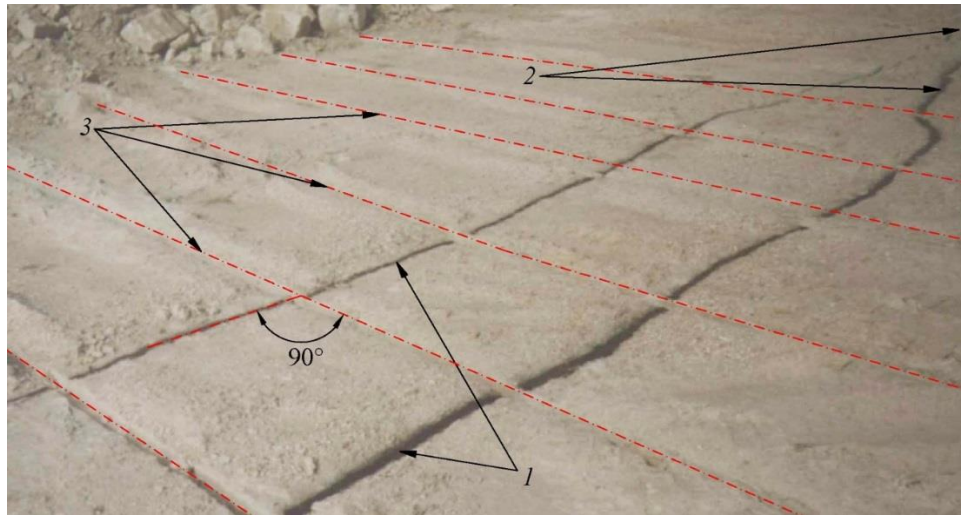


Рисунок 2.9 – Внешний вид крупных эндогенных трещин (1) в слое мячковского известняка: 2 – зоны слияния эндогенных трещин; 3 – баровые выработки (щели), пройденные с интервалом 2,0–2,1 м

Для исследования блочности карбонатных массивов нами использован метод, основанный на анализе выхода вертикальных эндогенных трещин на стенки искусственных выработок (щелей), созданных при помощи баровых установок.

Основные положения метода сводятся к следующему. С поверхности вскрытого продуктивного пласта известняка производится серия параллельных баровых пропилов. Все выходы трещин на стенки баровых выработок фиксируются реперами.

Соединение реперных точек друг с другом, позволяет получить (снять) контуры одной трещины по всей длине изучаемого блока. Проведя такую операцию со всеми реперными точками, и выполнив маркшейдерскую съемку участка, получается топографический план с нанесенной на него сетью эндогенных трещин (карта трещиноватости). Метод позволяет выявить азимут простираения господствующих (наиболее интенсивных) и второстепенных систем трещин.

По карте трещиноватости возможно определить площади, объемы и выход геологических отдельностей, которые слагают продуктивный слой, а также предпочтительное направление проходки баровых выработок.

При этапной отработке карьерных полей необходимо соединять (стыковать) карты смежных участков, составляя общую карту трещиноватости продуктивного слоя на всей разведанной площади. Наличие такой карты позволяет прогнозировать блочность и планировать направление последующего доизучения геологической структуры месторождения.

По данной методике определена блочность на опытном участке Афанасьевского месторождения (Московская обл.). Диагностика системы вертикальных эндогенных трещин и построение карты трещиноватости выполнялась под руководством докт. геол.-мин. наук Л. И. Звягинцева.

Для выявления господствующей системы трещин на предварительно зачищенной кровле продуктивного слоя известняка была пройдена серия щелевых выработок с использованием самоходной баровой установки. Направление баровых выработок на первом этапе было задано произвольно, т. к. на участке не существовало эффективных геологических обнажений, позволяющих диагностировать параметры трещин. Расстояние между баровыми выработками принято 2,4 м. Эндогенные трещины на стенках баровых выработок имеют четкий след, в большинстве случаев окаймленный природными лимонитовыми выцветами.

Распространение трещин определялось по контурам их выхода на стенки баровой выработки (рисунок 2.10). Направление простирания трещин определялось по величине смещения вертикальных следов трещины (AB и $A'B'$) на противоположные стенки баровой выработки.

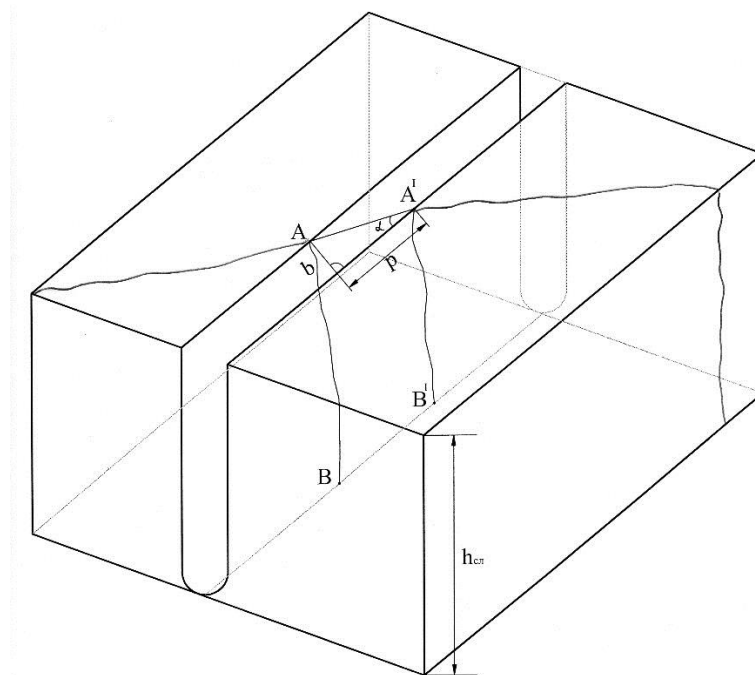


Рисунок 2.10 – Фрагмент баровой выработки с выходом трещин на соседние стенки пропила: $h_{сл}$ – мощность продуктивного слоя карбонатного массива

При проведении экспериментальных работ на опытном участке фиксировался верхний контур простирания эндогенной трещины в пределах ширины (b) баровой

выработки (соответственно $AA'BB'$ контур плоскости трещины), а p – длина проекции верхнего контура простираения трещины на вертикальную плоскость (стенку щели). Угол пересечения эндогенной трещиной баровой выработки таким образом составит:

$$\alpha = \arctg \frac{b}{p}. \quad (2.1)$$

На опытно-экспериментальном блоке Афанасьевского месторождения угол пересечения баровых выработок эндогенными трещинами основной системы составил $35\text{--}40^\circ$, при этом магнитный азимут их простираения составил 137° .

Основная часть (90 %) эндогенных трещин основной системы почти строго вертикальны (прямоколющие трещины). Средний размер геологической отдельности по длине баровой выработки, определяется частотой трещин. Его можно определить по выражению:

$$p = \frac{l_0}{n-1}, \quad (2.2)$$

где l_0 – длина баровой выработки;

n – число трещин, выходящих на стенки баровой выработки по ее длине (l_0).

Для продуктивных слоев мячковских известняков Афанасьевского месторождения этот показатель изменяется от 0,2 до 2,4 м (среднее значение 1,0–1,2 м) (рисунок 2.11).

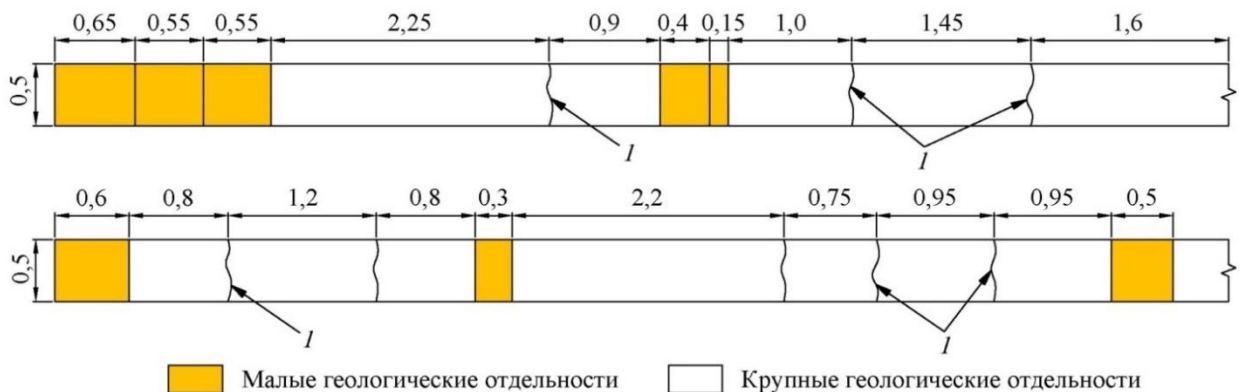


Рисунок 2.11 – Характерная схема выходов эндогенных трещин (I) на стенки баровой выработки в верхнем продуктивном слое «мячковского» известняка Афанасьевского месторождения

Полученные в ходе экспериментальных работ данные свидетельствуют о снижении трещиноватости (интенсивности трещин) при увеличении продуктивной мощности продуктивного слоя (рисунок 2.12) [73].

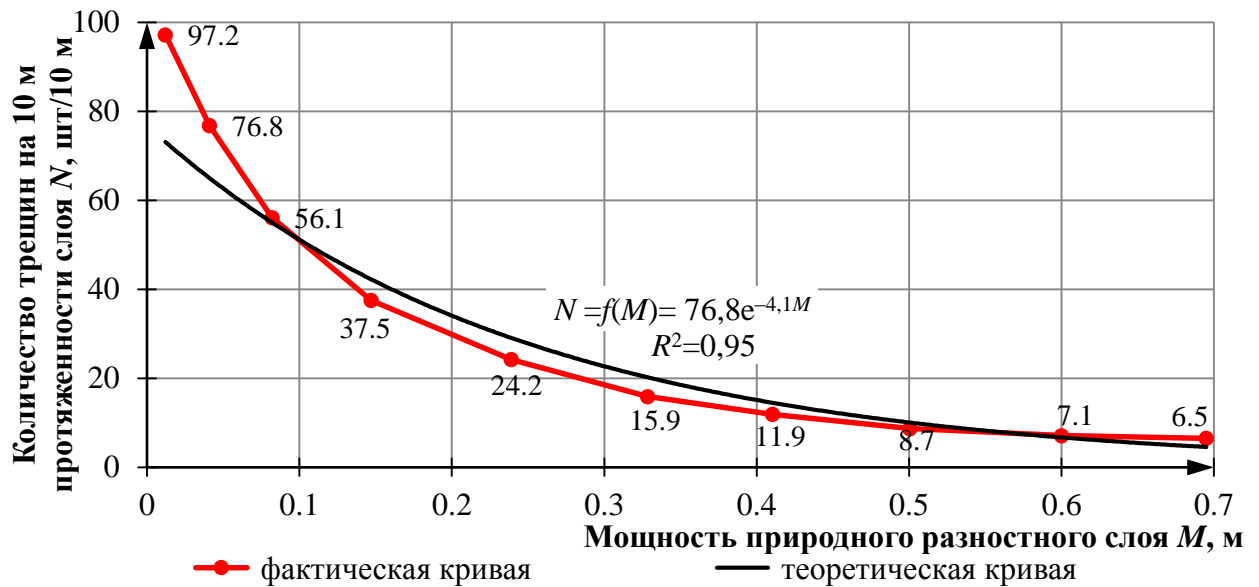


Рисунок 2.12 – Изменение числа эндогенных трещин на 10 м протяженности разностного слоя известняков в зависимости от мощности последнего R – коэффициент корреляции

Это свойство так же характерно для большинства слоистых массивов осадочных месторождений. По данным Н. Я. Репина [69] среднее расстояние между природными (секущими) трещинами связано с мощностью разностных слоев M следующей зависимостью: $l_{cp} = 1,62 \cdot M^{0,84}$. График данной зависимости представлен на рисунке 2.13.

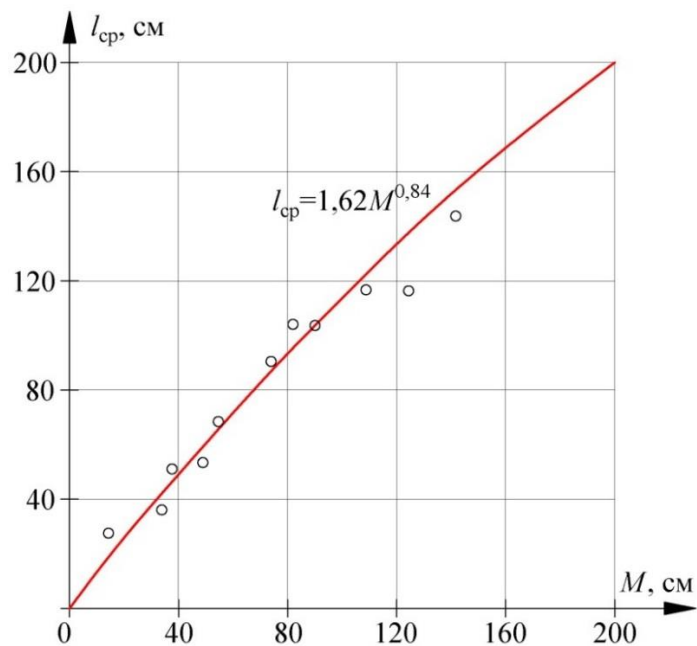


Рисунок 2.13 – График зависимости среднего расстояния между секущими трещинами (l_{cp}) от мощности слоев (M) на угольных месторождениях [69]

Было также установлено, что азимут простирания трещин основной системы ($\sim 137^\circ$) характерен для трех продуктивных слоев мячковского известняка. Проходка баровых выработок на смежных участках свидетельствуют, что данный параметр может быть распространен на обширную зону Восточного и Южного бортов карьера с размерами в плане 1200×550 м.

В процессе опытно-экспериментальных работ производились замеры площади поверхностей геологических отдельностей, выходящих на стенки баровых выработок, и их объемы. Статистическая обработка выполнена для 257 техногенных геологических обнажений. Анализ полученных данных свидетельствует, что в продуктивных слоях доминируют геологические отдельности объемом до $1,0 \text{ м}^3$ (рисунок 2.14) [70].

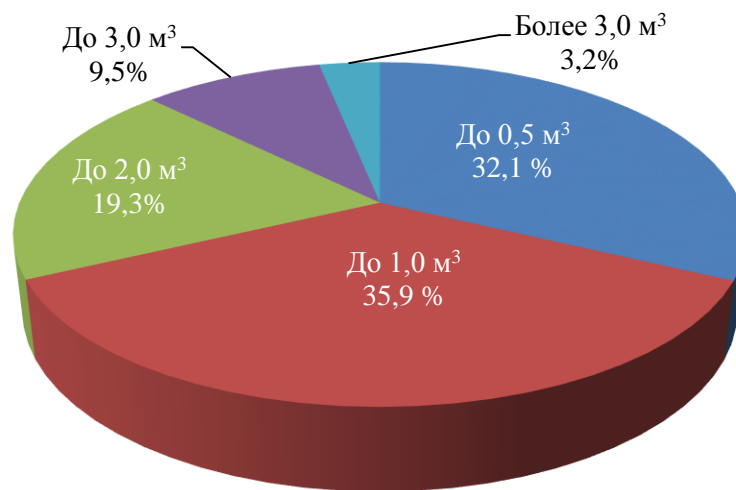


Рисунок 2.14 – Процентное соотношение объемов геологических отдельностей в продуктивных слоях Мячковских известняков Русской платформы (по данным замеров на карьерах Песковской, Касимовской и Добрятинской группы карбонатных месторождений). Обработка выполнена на 257 техногенных геологических обнажениях (щелях)

Эффективно можно использовать для целей камнеобработки блоки объемом более 1 м^3 . Таким образом, доля кондиционных блоков в разностных продуктивных слоях мячковских известняков Русской платформы составляет $\sim 32 \%$.

В зависимости от выбранной технологии добычи блоков их истинные размеры (природная блочность) уменьшаются, что обусловлено несовершенством процессов выемки, в ходе которых происходит частичное нарушение природных монолитов (рисунок 2.15).

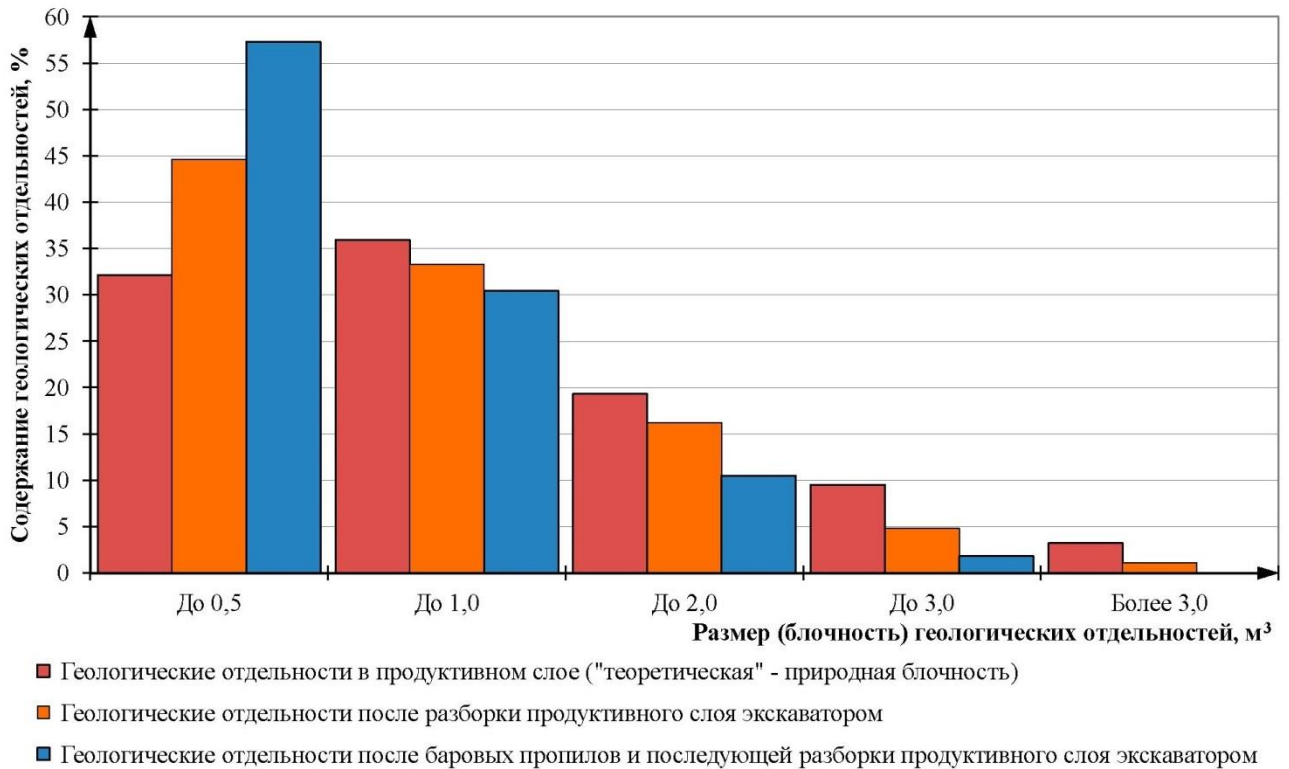


Рисунок 2.15 – Изменение фактической блочности материала, полученного при безвзрывной разработке массива, в сравнении с природной блочностью

На основе проведенных экспериментальных работ на семи карбонатных месторождений Русской платформы установлено, что при предварительном ослаблении массива баровыми выработками и последующей разборке слоя экскаватором природная блочность уменьшается на ~30-37 %, а при непосредственной разборке слоя экскаватором лишь на ~16-20 %.

При непосредственной разборке продуктивного слоя экскаватором частичное разрушение природных монолитов (геологических отдельныхностей) происходит за счет слабых зон или дефектов самих отдельныхностей. При использовании технологий, основанных на пилении массива, размер фактического блока определяется не только природными трещинами массива, но также частотой и направлением баровых выработок, создаваемых для ослабления массива перед выемкой.

Степень нарушенности массива природными трещинами (по В. А. Букринскому) может быть выражена коэффициентом W , равным отношению единицы объема (1 м^3) к объему усредненного блока ($V_{\text{ср}}$) [16]:

$$W=1/V_{\text{ср}}, \quad (2.3)$$

Для продуктивных слоев карбонатных массивов Русской платформы, исходя из размеров геологических отдельностей, объем усредненного блока можно принять в интервале 0,85–1,15 м³. В этом случае степень нарушенности массива (W) составит ~0,9–1,2. Для большинства месторождений мрамора данный показатель в 3–5 раз меньше, что предопределяет использование иных технологий для добычи блоков известняка.

2.4. Структура и качественные характеристики известняков Русской платформы

Главная масса карбонатных отложений Русской платформы состоит из мельчайших известковых водорослей – коколитофорит (А. Д. Архангельский). Существуют почти совершенно чистые известняки, состоящие из 99,75 % углекальцевой соли, но обыкновенные известняки содержат карбонат кальция и магния в частности, углемагнезиальной соли от 0 до 44 %. Часто наблюдается также примесь карбоната железа, доходящая в плохих, с точки зрения пригодности для строительных и реставрационных целей, известняках до 4 %. Многие известняки содержат некоторую примесь кремнекислоты (от 0 до 37 %) или глины (от 7 до 19 %), примесь, которая иногда достигает довольно значительной величины, так что получается постепенный переход к мергелям, т. е. к глинисто-известковым породам. Если содержание глины не превышает 15 %, то породу называют мергелистым известняком, до 30 % – мергелем, а выше этого – глинистым мергелем. В. А. Кинд и С. Д. Окорочков (1934 г.) дали схематическую диаграмму для разграничения этих пород [15].

Плотные, афанитовые известняки с раковистым изломом, содержащие достаточную примесь глины, являются хорошими цементными известняками или литографским камнем; таковы знаменитые литографские камни Золенгофена в Баварии, цементные известняки и мергели Черноморского побережья от Новороссийска до Геленжика, в регионе Кавказа по Белой Арагве. Примесь органического вещества (до 3 %) окрашивает многие известняки в серый, а иногда и в черный цвет (так называемый антраконит). Примером здесь могут служить многие известняки Ростовской области. Это битуминозное вещество является остатком органической материи тех организмов, которые дали начало известняку. Качественные признаки известняков, изменяясь в значительных пределах, обладают и определенными взаимосвязями. [17, 20, 21, 25]

По данным Б. В. Залесского, В. Я. Степанова, К. П. Флоренского, механическая прочность известняков хорошо определяется как функция степени их перекристаллизации, выраженная количеством микрокристаллического кальцита. Снижение доли микрокристаллического кальцита с 45–47 % до 20 % приводит к уменьшению механической прочности (на сжатие) в 1,8–2,0 раза. Важнейшим показателем, определяющим прочность известняков, является их структура [18].

Для Песковской группы месторождений (Афанасьевское, Паньшинское, Ратмировское и др.) известняки со скелетной структурой вторичного кальцита в 1,3–1,4 раза прочнее, чем детритусовые с пятнистой структурой. Прочностные свойства известняков при одинаковой величине зерен в породе определяются условиями соприкосновения последних. По этому фактору менее прочными являются пелитоморфно-криптокристаллические доломиты (Мячково), более прочными – микрокристаллические (Домодедово, Дубенки, Старица).

Потеря прочности при размокании и при замораживании связана с общей пористостью. По данным Б. В. Залесского повышение общей пористости с 10 до 25 % ведет к снижению прочности известняков на 40–45 % (рисунок 2.17).

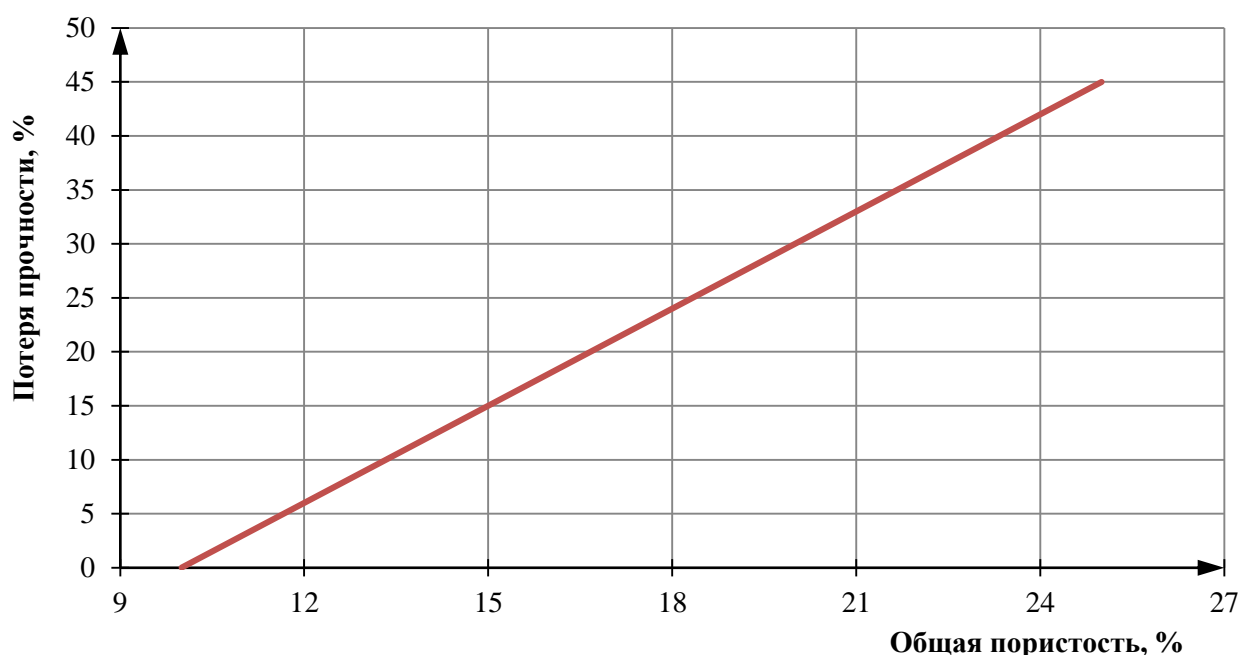


Рисунок 2.17 – Зависимость потери прочности известняков от их общей пористости

Принадлежность известняков к тому или иному геологическому горизонту дает очень предварительную и неточную для потребностей «реставрационной практики» информацию. При мощности мячковского горизонта в Подмосковном регионе от 10 до 40 м, только небольшая часть природных разностных слоев мощностью от 0,4 до 0,7 м может в той или иной степени соответствовать требованиям, предъявляемым к блочному камню. Кондиционные слои известняков сосредоточены обычно в пределах локальных зон, приуроченных к водоразделам малых рек.

Таким образом, несмотря на то, что известняк в пределах Русской платформы является общераспространенным полезным ископаемым («по классификации промышленной геологии»), проявления и зоны качественных блочных известняков являются редкими природными аномалиями. Их изученность остается неудовлетворительной. На балансе по категории «Природные облицовочные камни» находятся только два месторождения известняков Коробчеевское в Московской области и Молоковское в Тверской [62, 67, 68].

В геологической практике однородность известняков в пределах разностных слоев иногда оценивается по коэффициентам вариации механической прочности. По данному параметру известняки делятся на однородные (коэффициент вариации $K_{\text{вар}} = 5-17$), неоднородные ($K_{\text{вар}} = 18-30$) и очень неоднородные ($K_{\text{вар}} > 30$). По данному показателю известняки Русской платформы относятся к очень неоднородным.

Для данных массивов пределы колебаний механической прочности могут происходить в пределах одного слоя, что объясняется неравномерным выветриванием и в ряде случаев наложенным окварцеванием.

График изменения механической прочности для разностных слоев известняка Роговицко-Кикеренского месторождения приведен на рисунке 2.18, а данные изменения их механической прочности от объемного веса на рисунке 2.19. [10-12]

Наиболее значительные изменения физико-механических свойств происходят в пределах разностных слоев (по вертикали). При разработке известняков в XIV–XVIII в. в Подмосковье по берегам рек Москвы и Пахры по данным А. А. Ануфриева выделялось 17 слоев мячковского и подольского ярусов (таблица 2.1), из которых камень лишь одиннадцати шел на «выделку штучного камня» [19, 26].

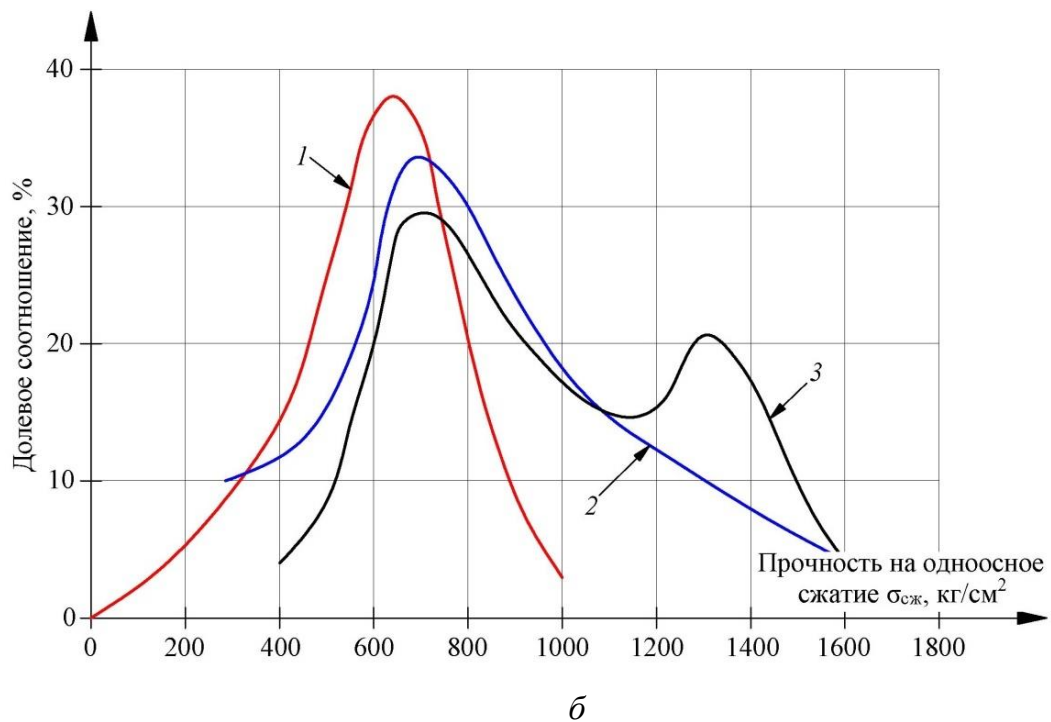
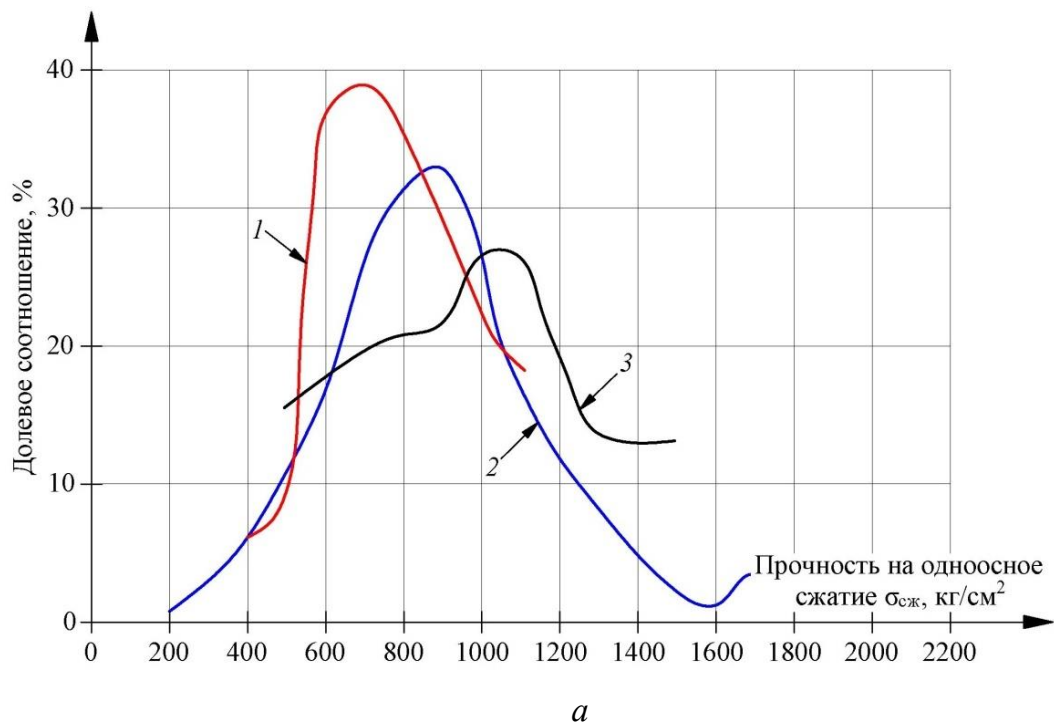


Рисунок 2.18 – Кривые изменения прочности на одноосное сжатие доломитизированных известняков Роговицко-Кикеренского месторождения для 35 разностных слоев: а) верхний горизонт; б) нижний горизонт; 1 – в сухом состоянии; 2 – в водонасыщенном состоянии; 3 – после 30 циклов попеременного замораживания и оттаивания (по данным ГРР, выполненных на Роговицко-Кикеренском месторождении)

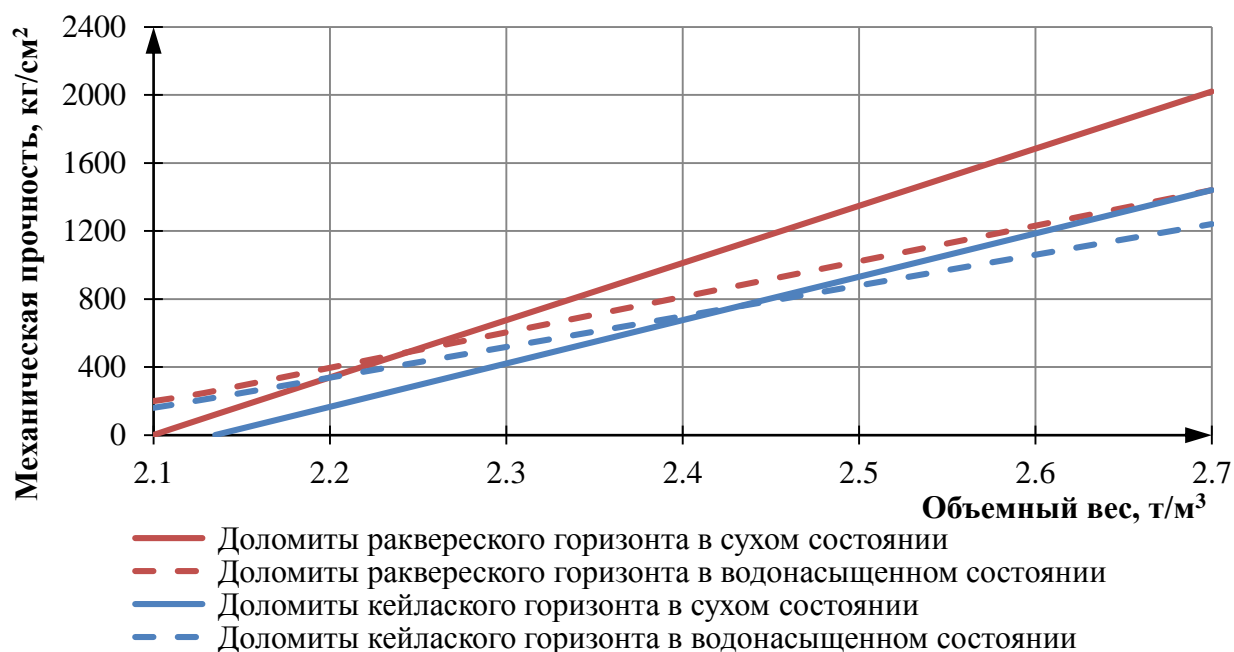


Рисунок 2.19 – Зависимости между механической прочностью и объемным весом известняков

Таблица 2.1 – Результаты лабораторных определений физических свойств разновидностей «белого камня», отобранных в Верхне-Мячковском и Домодедовском карьерах (по данным А. А. Ануфриева)

Номера образцов	Название слоя	Место взятия	Плотность мин. вещ-ва, г/см ³	Водонасыщенность вещ-ва, г/см ³	Величина свободного водопоглощения, Wв	Открытая пористость, %	Общая пористость, %
Ш-1	Шарша	М	2,73	2,40	0,06	13,60	17,10
Г-2	Гниляк	М	2,70	2,45	0,06	13,60	14,30
Г-1	Гниляк	М	2,69	2,48	0,04	9,90	11,40
Гн-1	Гниляк	Д	2,73	2,53	0,04	9,10	10,70
Гор-5	Горошек	М	2,76	2,21	0,10	19,90	27,10
Г-4	Гарнаша	М	2,69	2,35	0,09	20,00	20,10
Л-3	Лыска	М	2,69	2,21	0,13	24,90	27,10
Л-2	Лыска	М	2,70	2,26	0,10	20,60	23,90
Л1	Лыска	М	2,70	2,21	0,14	26,40	28,00
П-1	Поясник	М	2,72	2,26	0,11	22,10	25,00
К-2	Красенький	Д	2,69	2,16	0,12	23,60	28,50

Номера образцов	Название слоя	Место взятия	Плотность мин. вещ-ва, г/см ³	Водонасыщенность вещ-ва, г/ см ³	Величина свободного водопоглощения, Wв	Открытая пористость, %	Общая пористость, %
К-1	Красненький	Д	2,70	2,30	0,10	20,20	22,30
Мн-1	Мертвая плюшна (конгломерат)	Д	2,69	2,54	0,03	6,60	8,10
ММ	Могильник	Д	2,70	2,15	0,13	24,50	29,40
Д-1	Донник	Д	2,69	2,19	0,12	23,40	27,20
Н-3	Новлинский	Д	2,70	2,12	0,15	27,70	31,70
Н-2	Новлинский	Д	2,73	2,21	0,11	21,80	27,00

Примечание. Место взятия: М – Мячково, Д – Домодедово.

Выводы по главе 2

1. Известняки Русской платформы пригодные для реставрации и строительства, относятся, в основном, к мячковскому и подольскому геологическим горизонтам Каменноугольной системы, которые приурочены к южным и юго-восточным выходам Московской синеклизы.

2. При мощности карбонатных массивов от 10 до 40 м, только небольшая часть природных разностных слоев мощностью от 0,4 до 0,7 м может в той или иной степени соответствовать требованиям, предъявляемым к блочному камню. Кондиционные слои известняков сосредоточены обычно в пределах локальных зон.

3. В карбонатных массивах изменения физико-механических свойств могут происходить не только в разностных слоях, но и в пределах одного слоя.

4. Несмотря на то, что известняки в пределах Русской платформы являются общераспространенным полезным ископаемым («по классификации промышленной геологии»), проявления и зоны качественных блочных известняков являются редкими природными аномалиями.

5. Карбонатные массивы Русской платформы на ряду с явно выраженной слоистостью имеют интенсивно развитую систему вертикальных эндогенных трещин, что в совокупности предопределяет разделение массива на геологические отдельныености определенного размера.

6. Одним из эффективных способов исследования блочности карбонатных массивов может быть использован метод, основанный на анализе выхода вертикальных эндогенных трещин на стенки искусственных выработок (щелей), созданных при помощи баровых установок.

7. Частота эндогенных трещин карбонатных массивов Русской платформы, представленных известняками, зависит от мощности продуктивного слоя и определяется степенной функцией $N=f(M)=76,8e^{-4,1M}$ (где N – количество трещин на 10 м протяженности разностного слоя, а M – мощность слоя, м)

8. Доля кондиционных блоков с объемом более 1 м³ в продуктивных выемочных слоях известняков мячковского и подольского геологических горизонтов составляет ~32%.

9. Степень нарушенности карбонатных массивов Русской платформы (по В. А. Букринскому) составляет ~0,9–1,2. Для большинства месторождений мрамора

данный показатель в 3–5 раз меньше, что предопределяет использование иных технологий для добычи блоков известняка.

10. При отработке продуктивных слоев известняка происходит частичное нарушение кондиционных блоков, приводящее к уменьшению объема последних. Безвзрывная технология добычи блоков известняка, основанная на разборке массива по природным разностным слоям, позволяет на 20 % увеличить выход товарных блоков из массива по сравнению с технологиями, базирующимися на пилении карбонатных пород.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СОЗДАНИЯ КАРЬЕРОВ ПО ДОБЫЧЕ БЛОЧНОГО ИЗВЕСТНЯКА

3.1. Исследование возможности создания специализированных участков (карьеров) по добыче блочных известняков

В практике горных работ для оценки границ между открытым и подземным способами производства горных работ широко используется понятие предельного коэффициента вскрыши ($K_{пр}$).

Используя его в качестве критерия оценки эффективности создания карьера блочного камня уточним, что речь не идет о выделении пограничной зоны между открытым и подземным способами, а лишь о соотношении налегающей вмещающей толщи пород к мощности продуктивного пласта, при котором открытая разработка блочных известняков экономически эффективна. В дальнейшем, и это может быть отдельным исследованием, возможно рассмотреть варианты подземной разработки продуктивных пластов, тем более, что в недалеком прошлом (XVII–XIX вв.) такая разработка повсеместно велась с коренных берегов р. Волги, Оки, Москвы, Пахры.

Схема для расчета $K_{пр}$ в условиях вскрытых запасов продуктивного слоя и наличия остаточной карьерной выработки приведена на рисунке 3.1.

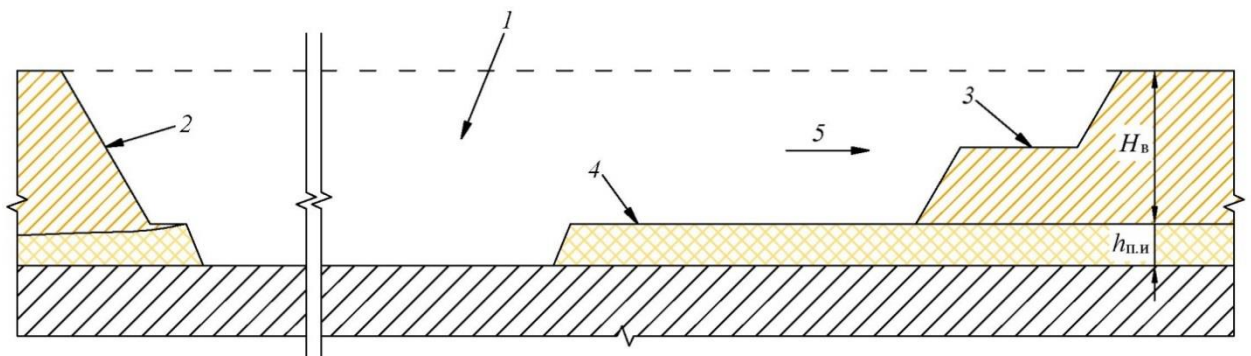


Рисунок 3.1 – Схема для расчета предельного коэффициента вскрыши в условиях вскрытых запасов продуктивного слоя и наличия остаточной карьерной выработки: 1 – выработанное пространство карьера; 2 – стационарный борт; 3 – верхние уступы; 4 – продуктивный слой; 5 – направление ведения горных работ; H_v – мощность вскрышных пород; $h_{п.и}$ – мощность полезного ископаемого

Величина $K_{пр}$ может быть определена на базе следующего выражения:

$$K_{пр} = \frac{C_d - C_o}{C_b}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (3.1)$$

где C_d – предельно допустимая себестоимость добычи 1 м³ полезного ископаемого (товарного блока известняка), руб/м³;

C_o – себестоимость добычи 1 м³ полезного ископаемого без учета затрат на производство вскрышных работ, руб/м³;

C_v – себестоимость производства 1 м³ вскрышных работ, руб/м³.

Предельно допустимую себестоимость добычи 1 м³ при проектировании карьеров принимают равной цене реализации 1 м³ товарного блока известняка (Π , руб/м³). При равенстве $C_d = \Pi$, предприятие работает на уровне нулевой рентабельности. Предельный коэффициент вскрыши в данном случае будет определяться по выражению:

$$K_{\text{пр}} = \frac{\Pi - C_o}{C_v}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (3.2)$$

Значение $K_{\text{пр}}$ для горных предприятий, имеющих полный цикл переработки блочных известняков (от добычи до получения товарной продукции), определяется по выражению:

$$K_{\text{пр}} = \frac{(m_p - C_p) \cdot p - \frac{C_m}{b} - C_{\text{тр}} + D}{C_v}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (3.3)$$

где m_p – рыночная цена готовой продукции из природного камня, руб/м³;

C_p – себестоимость распиловки 1 м³ изделий из добытого блока, руб/м³;

p – выход товарной продукции из добытого блока (0,3–0,4);

C_m – затраты на разработку 1 м³ породы продуктивного слоя, руб/м³;

b – выход кондиционного блока из продуктивного слоя;

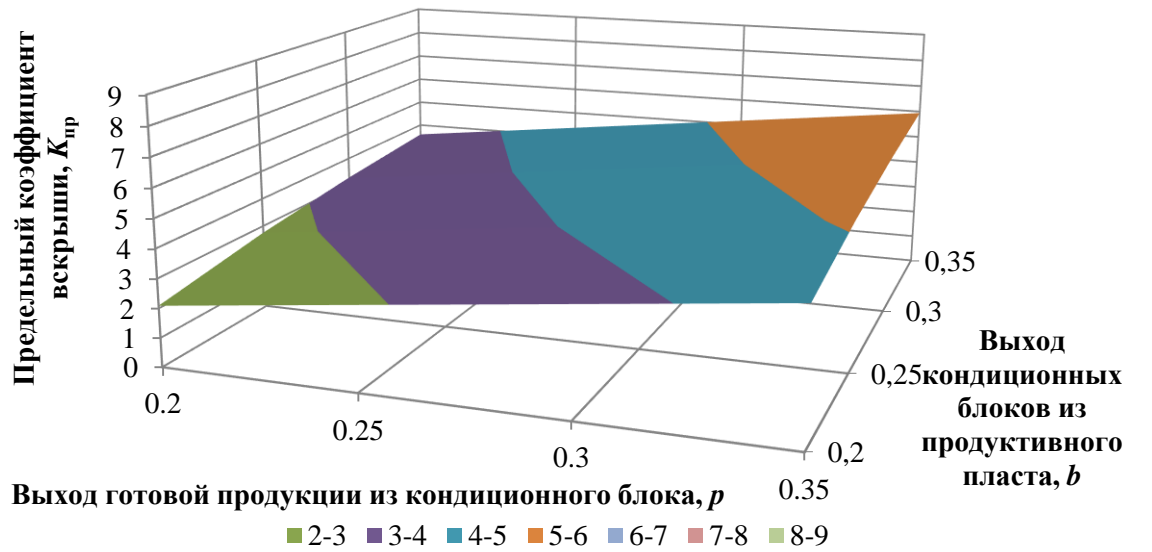
$C_{\text{тр}}$ – стоимость доставки 1 м³ блока на камнеобрабатывающее предприятие, руб/м³;

D – доходность, получаемая от переработки некондиционных блоков известняка, извлекаемых при выемке кондиционных блоков;

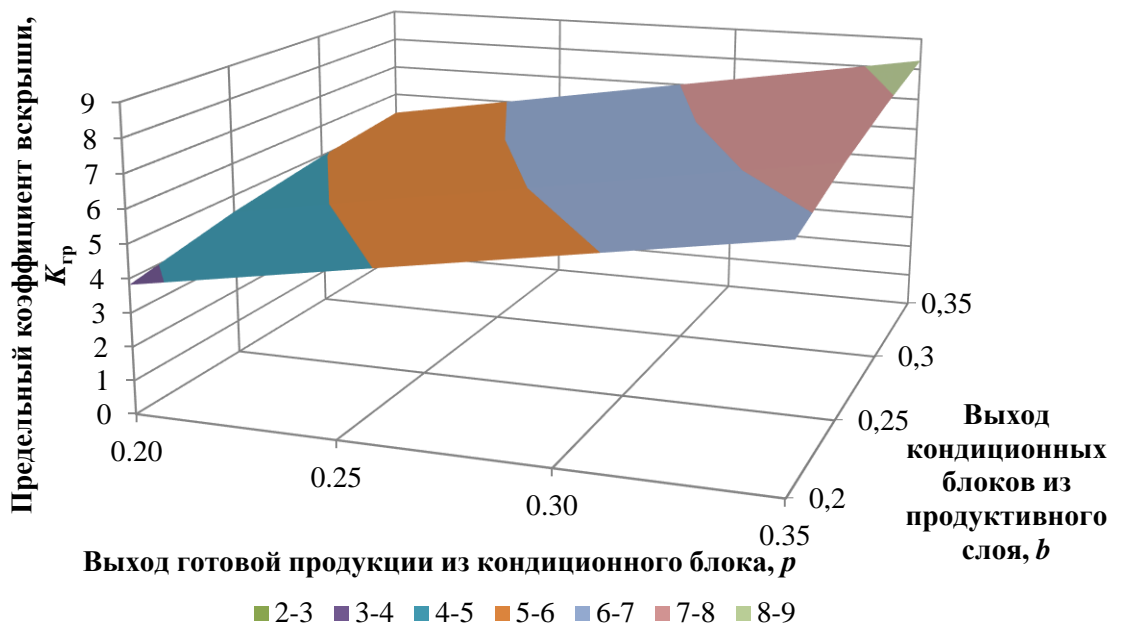
C_v – затраты на разработку 1 м³ перекрывающих пород, руб/м³.

Основными переменными, влияющими на значение $K_{\text{пр}}$ являются выход готовой продукции из 1 м³ добытого блока (p), рыночная цена продукции (m_p) и выход блоков из продуктивного слоя (b). При параметрах переменных: $p=0,20\text{--}0,35$; $m_p=50\text{--}70$ тыс. руб/м³; $b=0,20\text{--}0,35$ – расчетное значение предельного коэффициента вскрыши изменяется в интервале от 6 до 8 м³/м³. Наглядное представление об изменении

предельного коэффициента вскрыши как функции трех переменных, т. е. $K_{пр}=f(p, m_p, b)$ дает график, изображенный на рисунке 3.2.



a



б

Рисунок 3.2 – Зависимости изменения предельного коэффициента вскрыши от выхода товарных блоков из продуктивного слоя и выхода продукции из товарного блока при стоимости готовой продукции на рынке: а) 50 тыс. руб/м³; б) 70 тыс. руб/м³

В случае если текущий коэффициент вскрыши рассматриваемого месторождения выше рассчитанного предельного коэффициента, блочный камень может добываться только «на принципах попутной выемки».

Вышеприведенные значения $K_{пр}$, определяющие область и возможность создания самостоятельных участков справедливы для условий, когда имеются вскрытые геологические обнажения, сформированные карьерами, ранее разрабатывающими данное месторождение. Эти условия представляют значительный практический интерес для многих карбонатных месторождений Русской платформы (Малеевское, Афанасьевское, Добрятинское, Георгиевское, Скрипенское, Коробчеевское и др.).

Если речь идет о новых месторождениях, то дополнительным фактором, осложняющим создание самостоятельного карьера блочного камня, являются начальные капитальные затраты, связанные с его строительством. В данных условиях дополнительное условие эффективной разработки месторождения будет заключаться в том, чтобы капитальные затраты (инвестиции), связанные с его освоением, имели срок окупаемости $t_{ок}$ не более 3–4 лет.

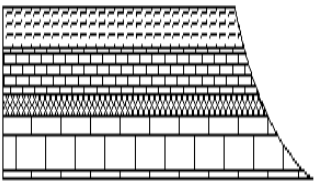
3.2. Типизация горно-геологических условий залегания продуктивных слоев в толще карбонатных массивов

Типизация горно-геологических условий залегания продуктивных слоев известняка необходима для выявления карбонатных месторождений Русской платформы (в пределах Московской синеклизы), на которых возможно создание специализированных карьеров по добыче блочного камня [50, 51].

Для анализа возможности создания специализированного карьера по добыче блочного камня принят критерий $K_{пр}$. Типизация выполнена по регионам. В нее включены основные карбонатные месторождения Владимирской, Рязанской, Тверской, Архангельской областей и Подмосковья (таблица 3.1) [66].

Для лучшего восприятия данных таблицы 3.1 построена итоговая диаграмма (рисунок 3.3), на которую нанесены расчетные показатели текущих коэффициентов вскрыши (K_T) карбонатных месторождений при их разработке на блочный камень и расчетные значения предельного коэффициента вскрыши ($K_{пр}$). Группа месторождений, значение коэффициента вскрыши которых лежит ниже линии $K_{пр}$, предполагает возможность создания специализированных карьеров по выемке блочных известняков. На месторождениях у которых значение коэффициента вскрыши лежит выше линии $K_{пр}$, выемка блочных известняков может осуществляться только на принципах попутной выемки.

Таблица 3.1 – Типизация горно-геологических условий залегания продуктивных пластов известняка в толще карбонатных массивов Русской платформы

Месторождения. Характерные условия расположения продуктивных пластов в массиве	Геологические горизонты	Мощность слоев, м	Расположение от дневной поверхности, м	Текущий коэффициент вскрыши при разработке на блочный камень, м ³ /м ³	Прочность на сжатие, МПа	Цвет материала
Паньшинское (Московская обл., Воскресенский район)	Мячковский (Ср. карбон) известняк 1 продуктивный слой	0,4–0,6 (ср. 0,5)	10–13 (ср. 11,5)	24,0	20–40	Белый
1  2 3						
1 – Реголит (5–6 м) 2 – Карбонатная толща (5–7 м) 3 – Продуктивный слой (0,3–0,6 м)						
Коробчеевское (Московская обл., Коломенский район)	Подольский (Ср. карбон) известняк 1 продуктивный слой	0,35–0,50 (ср. 0,4)	7–8 (ср. 7,5)	18,7	21–80	Светло-бежевый
Акатьевское (Московская обл., Коломенский район)	Мячковский горизонт 2 продуктивных слоя	0,50–0,55 0,55–0,70 (ср. 0,57)	9,8	8,5	30–60	

Месторождения. Характерные условия расположения продуктивных пластов в массиве	Геологические горизонты	Мощность слоев, м	Расположение от дневной поверхности, м	Текущий коэффициент вскрыши при разработке на блочный камень, м ³ /м ³	Прочность на сжатие, МПа	Цвет материала
Афанасьевское (Южный и Западный участки, Московская обл., Воскресенский район)	Мячковский (Ср. карбон) известняк 3 продуктивных слоя	0,4–0,5 0,5–0,6 0,7–1,2 (ср. 1,95)	15–23 (ср. 19)	9,7	20–40	Белый
Рыбушкин овраг (Московская обл.)	Мячковский (Ср. карбон) известняк, доломит 3 продуктивных слоя	0,5–0,7 0,6–0,7 0,4–0,5 (ср. 1,7)	8–10 (ср. 9)	5,2	–	Известняк белый. Доломит желтый
Никитское (Московская обл., Домодедовский район)	Мячковский (Ср. карбон) известняк, доломит 2 продуктивных слоя	0,6–0,7 0,4–0,5 (ср. 1,1)	6–8 (ср. 7)	6,4	–	Известняк белый. Доломит желтый
Попова Гора (Московская обл., Луховицкий район)	Подольский (Ср. карбон) известняк 1 продуктивный слой	0,5–0,6 (ср. 0,55)	12–14 (ср. 13)	23,6	–	Белый

Месторождения. Характерные условия расположения продуктивных пластов в массиве	Геологические горизонты	Мощность слоев, м	Расположение от дневной поверхности, м	Текущий коэффициент вскрыши при разработке на блочный камень, м³/м³	Прочность на сжатие, МПа	Цвет материала
Приокское (Московская обл., Коломенский район)	Мячковский Подольский (Ср. карбон) известняк 2 продуктивных слоя	0,5–0,6 0,6–0,8 (ср. 1,3)	16–20 (ср. 18)	13,8	—	Белый
Горское (Московская обл., Озерский район)	Мячковский (Ср. карбон) известняк 1 продуктивный слой	0,5–0,7 (ср. 0,65)	11–13 (ср. 12)	18,5	—	Белый
Марковское (Московская обл., Озерской район)	Подольский (Ср. карбон) известняк 1 продуктивный слой	0,6–0,7 (ср. 0,65)	14–15 (ср. 14,5)	29,0	—	Светло-бежевый
Храповицкое (Владимирская обл.)	Гжельский Ср. карбон известняк 1 продуктивный слой	0,5–0,7 (ср. 0,6)	3,5–4,8 (ср. 4,15)	7,0	—	Белый

Месторождения. Характерные условия расположения продуктивных пластов в массиве	Геологические горизонты	Мощность слоев, м	Расположение от дневной поверхности, м	Текущий коэффициент вскрыши при разработке на блочный камень, м³/м³	Прочность на сжатие, МПа	Цвет материала
Касимовское (Рязанская обл.)	Мячковский (Ср. карбон) известняк 1 продуктивный слой (нестабильное залегание)	0,5–0,7 (ср. 0,6)	12–14 (ср. 13)	21,6	20–60	Белый, светло- желтый
Добрятинское (Владимирская обл.)	Речицкий и семеровский горизонты гжельского яруса карбона	0,4–0,6 (ср. 0,5)	10–12 (ср. 11)	22,0	40–60	Светло- бежевые, желтые
Старицкое (Тверская обл.)	Мячковский (Ср. карбон) известняк 1 продуктивный слой	0,4–0,5 (ср. 0,45)	8–11 (ср. 9,5)	21,0	–	Светло- желтый
Молоковское (Тверская обл.)	Мячковский (Ср. карбон) известняк 1 продуктивный слой	0,5–0,6 (ср. 0,55)	7–12 (ср. 9,5)	17,2	–	Белый

Месторождения. Характерные условия расположения продуктивных пластов в массиве	Геологические горизонты	Мощность слоев, м	Расположение от дневной поверхности, м	Текущий коэффициент вскрыши при разработке на блочный камень, м³/м³	Прочность на сжатие, МПа	Цвет материала
Мончаловское (Тверская обл.)	Подольский (Ср. карбон) известняк 1 продуктивный слой	0,7–0,8 (ср. 0,75)	15–17 (ср. 16)	24,0	–	Белорозовый
Орлецовское (Архангельская обл.)	Мячковский (Ср. карбон) известняк 1 продуктивный слой	0,5–0,6 (ср. 0,55)	6–7 (ср. 6,5)	11,8	–	Белый
Савинское (Архангельская обл.)	Мячковский (Ср. карбон) известняк 1 продуктивный слой	0,5–0,7 (ср. 0,6)	9–10 (ср. 9,5)	15,8	–	Белый

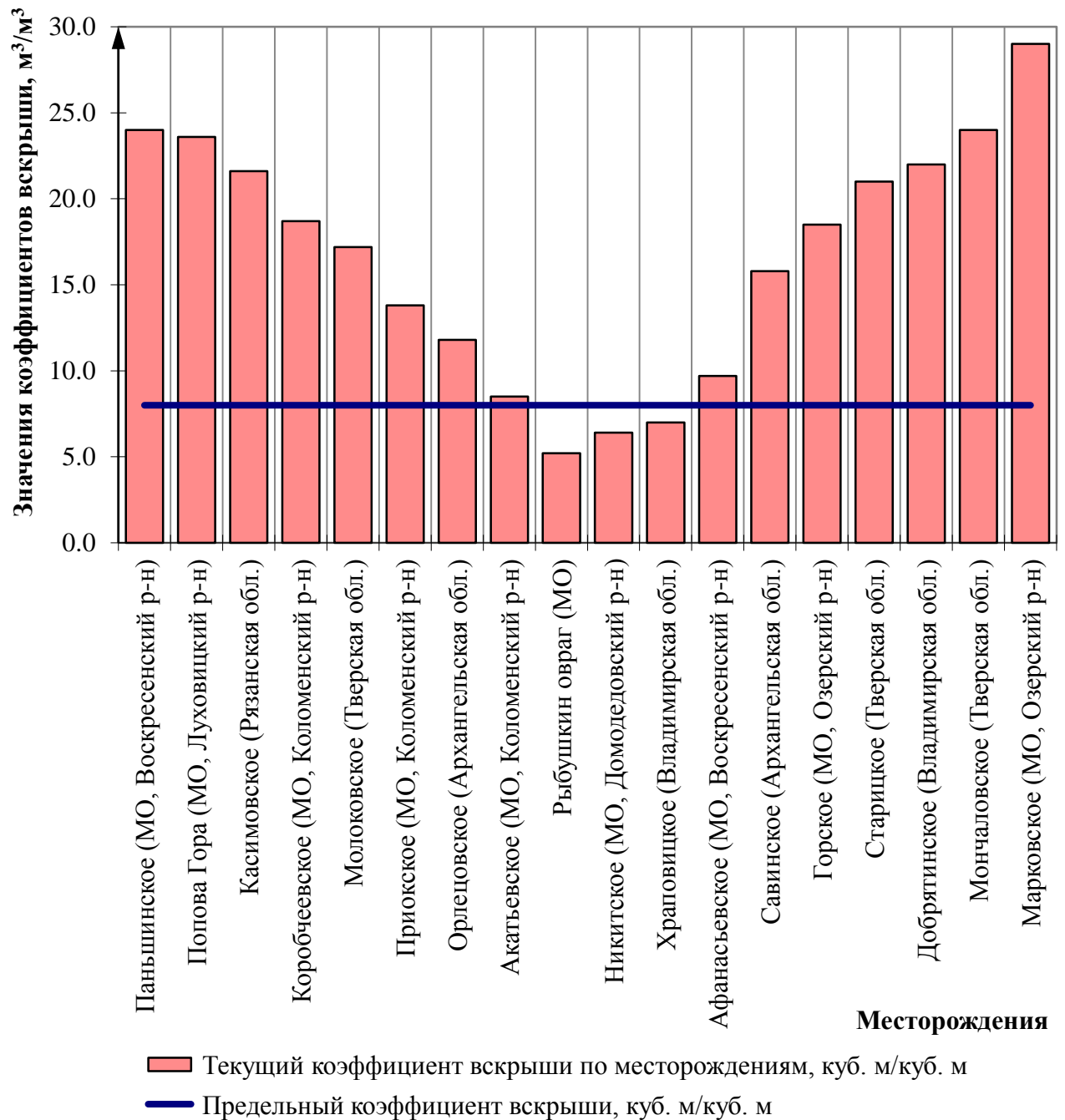


Рисунок 3.3 – Величина фактических значений коэффициентов вскрыши для отработки продуктивного слоя (слоев) известняка на основных карбонатных месторождениях Русской платформы

Данные таблицы 3.1 и рисунка 3.3 свидетельствуют, что для большинства карбонатных месторождений Русской платформы разработка блочного известняка возможна только на принципе «попутной выемки» при комплексном использовании всей продуктивной толщи карбонатов.

Это обстоятельство дает возможность сформулировать основные принципы (рамки) для формирования перспективных технологий выемки блочного камня. Суть их сводится к следующему:

- участок добычи блоков должен быть интегрирован в рабочую (временно нерабочую) зону карьера, отрабатывающего карбонатный массив для других видов промышленного использования (цементная промышленность, щебеночное производство, горно-химическое сырье и т. д.);
- некондиционные блоки (до 50–80 % извлекаемого объема) с участка выемки блочного камня необходимо перерабатывать в базовые виды продукции карьера;
- породы, вмещающие продуктивные пласты блочных известняков, желательно разрабатывать по безвзрывным технологиям, при этом сам участок по выемке блочного камня должен быть «экранирован» от действия взрывных работ.

3.3. Обоснование перспективных технологий разработки блочного камня

Под схемой разработки следует понимать установленный порядок и последовательность выполнения горно-подготовительных, вскрышных, добычных работ с целью отработки блочного камня в пределах карьерного поля или его участка.

На формирование схемы разработки оказывают влияние следующие факторы:

- размещение участка по добыче блочного камня (в рабочей или нерабочей зонах карьера);
- глубина залегания продуктивных слоев;
- прочность межслоевых контактов в пределах зоны кондиционных разностных слоев, а также во вмещающих породах;
- способ отработки рабочих уступов основного карьера (с применением буровзрывных работ или без них).

При выборе местоположения участка по добыче блочного камня в контурах эксплуатационных карьеров необходимо учитывать следующие обстоятельства:

- местонахождение и размер участка должны определяться объемами и качеством запасов продуктивных слоев;
- добычная зона участка по выемке блочного камня должна быть надежно экранирована от взрывных работ основного карьера;

– участок по добыче блочного камня будучи интегрированным в рабочую зону карьера не должен оказывать отрицательное влияние на основной технологический процесс.

Возможные варианты размещения участка по добыче блочного камня в пределах основного карьера представлены на рисунке 3.4. Первый предполагает размещение участка по выемке блочного камня в нерабочей зоне основного карьера (3, рисунок 3.4 а). Достоинством данного варианта является то, что специализированный участок по добыче блочного камня не завязан с технологическими процессами основного карьера и работы в нем могут планироваться без ограничений, накладываемых порядком развития основной рабочей зоны карьера.

Второй вариант предполагает интеграцию специализированного участка в рабочую зону основного карьера. Здесь возможно два варианта формирования фронта добычных работ:

- длина фронта работ по выемке блочного камня равняется фронту работ основного карьера ($L_{ф.бк} = L_{ф.осн}$, рисунок 3.4 б);
- длина фронта работ по выемке блочного камня менее фронта работ основного карьера ($L_{ф.бк} < L_{ф.осн}$, рисунок 3.4 в).

Сокращение длины фронта работ по выемке блочного камня предопределяется следующими обстоятельствами:

- продуктивный слой по своим качественным характеристикам удовлетворяет условиям на блочный камень лишь в локальной зоне основного карьера;
- участок рабочей зоны по добыче блочного камня не может обеспечить необходимую скорость подвигания фронта работ (равную подвиганию технологических уступов основного карьера).

Подвигание фронта горных работ в меньшей степени влияет на выбор размещения участка по выемке блочного камня, когда последний находится в зоне нижних горизонтов карьера. Сдерживающим фактором здесь могут быть лишь условия складирования вскрышных пород в выработанном карьерном пространстве.

Комплексы оборудования и технологии выемки, используемые на участке по добыче блочного камня и при отработке основного карьера обычно имеют существенные отличия. По глубине залегания продуктивных слоев можно выделить три

типа массивов пригодных для разработки на блочный камень. Характеристика данных массивов представлена в таблице 3.2.

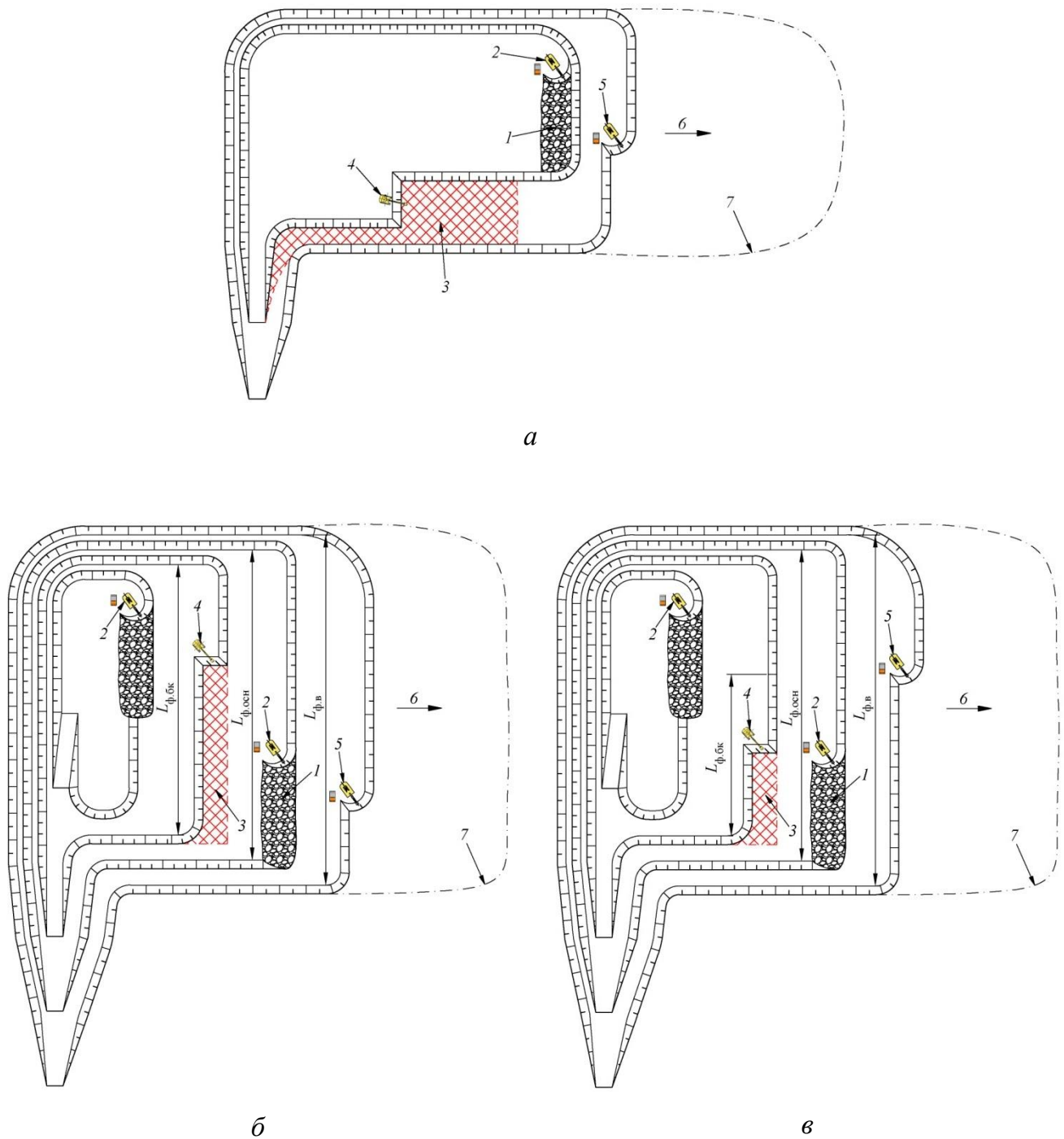


Рисунок 3.4 – Размещение специализированного участка по добыче блочного камня на действующем карьере: 1 – основная добычная зона карьера; 2 – комплексы добычного оборудования; 3 – участок по выемке блочного камня; 4 – комплекс оборудования по выемке блочного камня; 5 – комплекс вскрышного оборудования; 6 – направление развития фронта горных работ; 7 – конечный контур карьера; $L_{ф.в}$ – длина вскрышного фронта горных работ; $L_{ф.осн}$ – длина основного добычного фронта горных работ; $L_{ф.бк}$ – длина фронта выемки блочного камня

Таблица 3.2 – Типизация массивов по глубине залегания продуктивных слоев, пригодных для разработки на блочный камень

Условия залегания продуктивных слоев (типы массивов)		Глубина залегания продуктивного слоя блочного камня, м	Зоны массива по глубине	Характеристика пород, слагающих зоны массива	Характеристика технологии отработки	
					Без БВР	С БВР
I	Приповерхностное залегание	6–8	1	РПВП	МВВ	МВВ
			2	БК	СТО	СТО
			3	СТСП	БЗТ	БВР
II	Продуктивные слои расположены на средних гипсометрических уровнях месторождения	8–12	1	РПВП	МВВ	МВВ
			2	СТСП	БЗТ	БЗТ
			3	БК	СТО	СТО
			4	СТСП	БЗТ	БВР
III	Глубинное залегание	> 12	1	РПВП	МВВ	МВВ
			2 а	СТСП	БЗТ	БВР
			2 б	СТСП		БЗТ
			3	БК	СТО	СТО
			4	СТСП	БЗТ	БВР

Примечание:

РПВП – рыхлые и полускальные вскрышные породы;

БК – зона, состоящая из 1–3 слоев мощностью 0,4–0,6 м по качественным характеристикам, пригодных для разработки на блочный камень;

СТСП – сильнотрещиноватая скальная порода, непригодная для отработки на блочный камень;

МВВ – выемка вскрышных пород с перемещением их в отвал без применения буровзрывных работ (БВР);

СТО – специальные технологии, позволяющие выполнять отработку массива с получением блочного камня;

БВР – стандартные технологии отработки карбонатных массивов с применением БВР;

БЗТ – безвзрывные технологии отработки массива с последующей переработкой исходного минерального сырья в товарную продукцию (щебень, цемент, известь, минеральный порошок и т. д.).

Наиболее простыми для отработки блочного камня являются массивы с приповерхностным залеганием продуктивных слоев. Технологическая схема их отработки практически не связана с производством взрывных работ (или иных технологий) на нижней группе рабочих горизонтов карьера (рисунок 3.5).

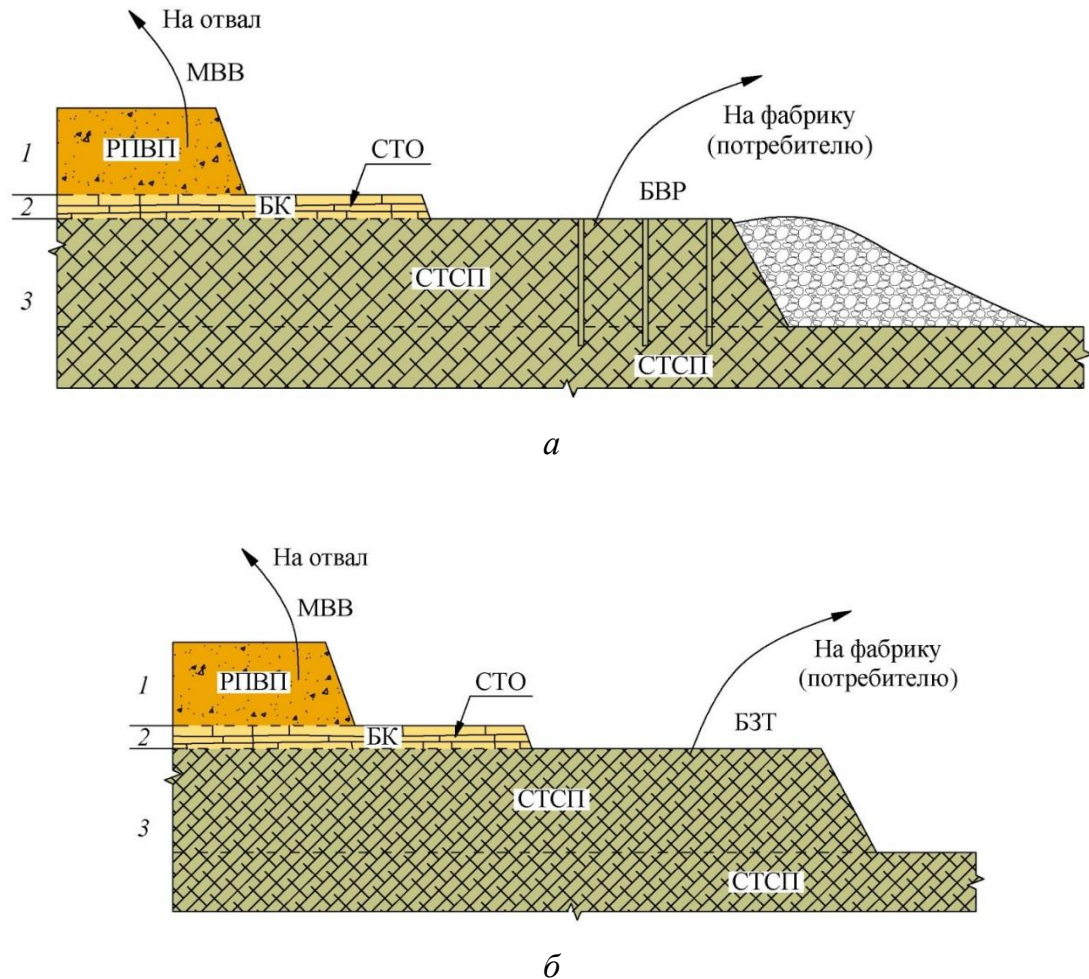


Рисунок 3.5 – Схема отработки продуктивного слоя известняков для массивов I типа с применением (а) и без применения БВР (б): 1, 2, 3 – технологические зоны массива по глубине (расшифровка аббревиатур дана в примечании таблицы 3.2)

Выполненная типизация карбонатных месторождений Русской платформы (п. 3.2) свидетельствует, что для большинства из них продуктивные слои блочных известняков располагаются на средних и нижних гипсометрических уровнях карбонатных месторождений (II и III тип массивов по данным таблицы 3.2). В таких массивах продуктивные слои блочных известняков перекрыты скальными породами, непригодными для блочного камня, но которые необходимо отрабатывать для получения иных видов продукции. Отличия II и III типа массивов заключается в мощности скальных пород, перекрывающих продуктивные слои известняка.

II тип массива характеризуется небольшой мощностью скальных пород, которые в большинстве случаев могут обрабатываться с использованием безвзрывных технологий (рисунок 3.6).

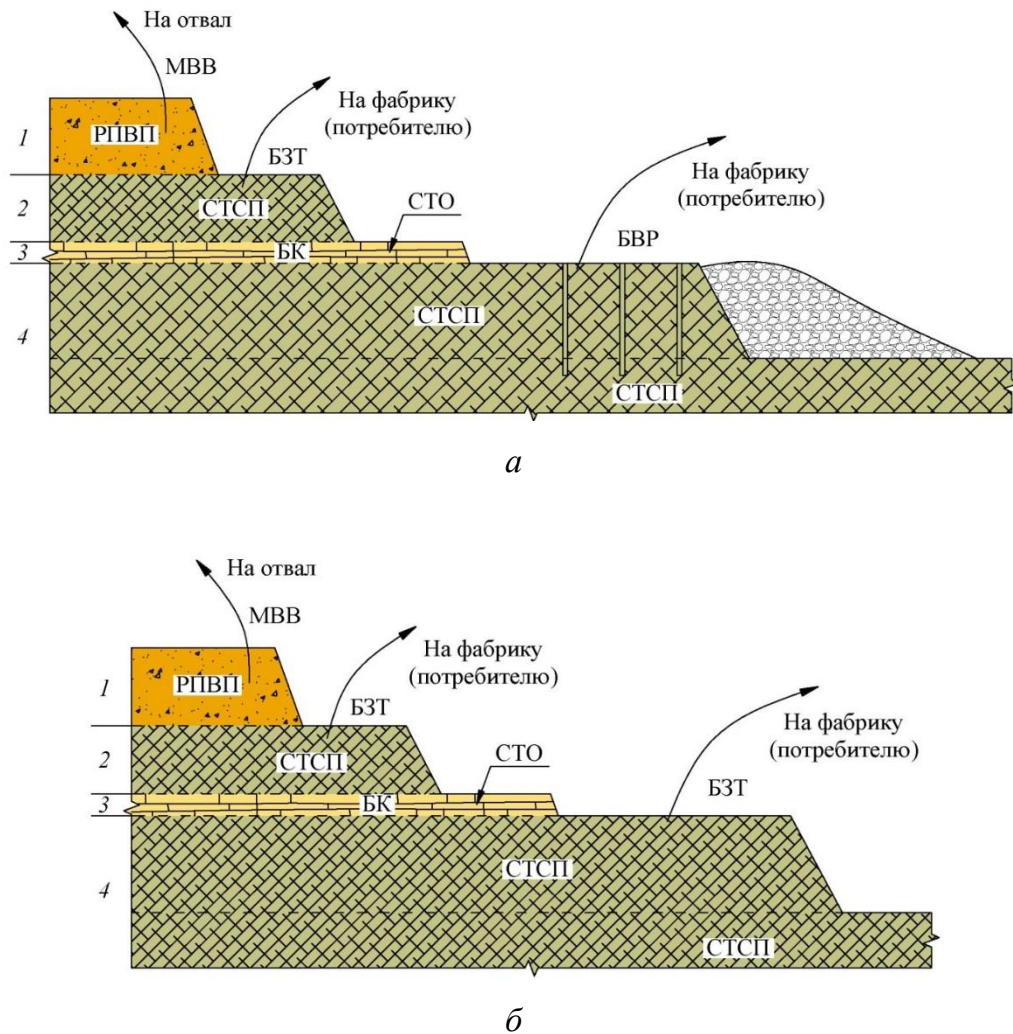


Рисунок 3.6 – Схема отработки массива II типа с применением (а) и без применения БВР (б): 1, 2, 3, 4 – технологические зоны массива по глубине (расшифровка аббревиатур дана в примечании таблицы 3.2)

Использование безвзрывных технологий в верхних слоях для массивов II типа обусловлено тем, что мощность вмещающих скальных пород не позволяет сформировать полноценный уступ, в пределах которого можно выделить экранирующий слой, обеспечивающий защиту продуктивных слоев известняка от действия взрывных нагрузок.

Для III типа массивов (при большой мощности вмещающих скальных пород) верхняя часть рабочей зоны карьера представлена, как правило, несколькими рабочими уступами (рисунок 3.7).

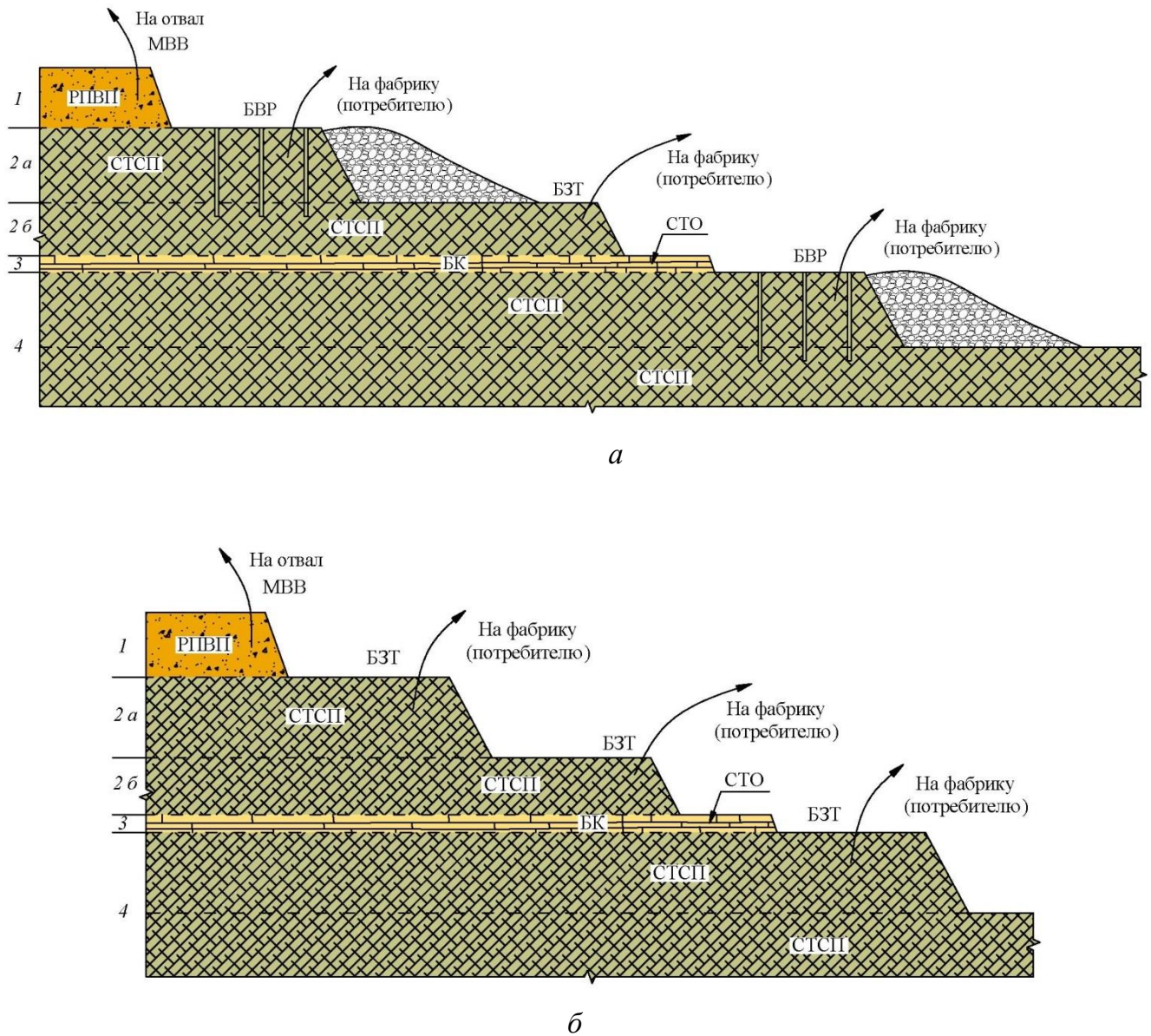


Рисунок 3.7 – Схема обработки массива III типа с применением (а) и без применения БВР (б) : 1, 2 а, 2 б, 3, 4 – технологические зоны массива по глубине (расшифровка аббревиатур дана в примечании таблицы 3.2)

При использовании буровзрывных работ над продуктивным слоем выделяется специальный уступ (рисунок 3.7), который отрабатывается без взрыва и является экраном, защищающим продуктивный слой от действия взрывных нагрузок [71]. Мощность этого слоя (уступа) зависит с одной стороны от параметров взрывных работ, с другой, от мощности и характеристик слоев и межслоевых контактов, перекрывающих продуктивную зону известняка.

На участках по добыче блочного камня выбор направления подвигания фронта горных работ предопределяется природной трещиноватостью массива и анизотропией

свойств продуктивных слоев. В большинстве случаев, когда блочный камень не является основной продукцией, направление подвигания развития фронта горных работ жестко заимитировано условиями отработки основного вида минерального сырья. В этих условиях оптимальные направления выемки блочного камня могут в определенном диапазоне регулироваться параметрами выемочных заходов рисунок 3.8.

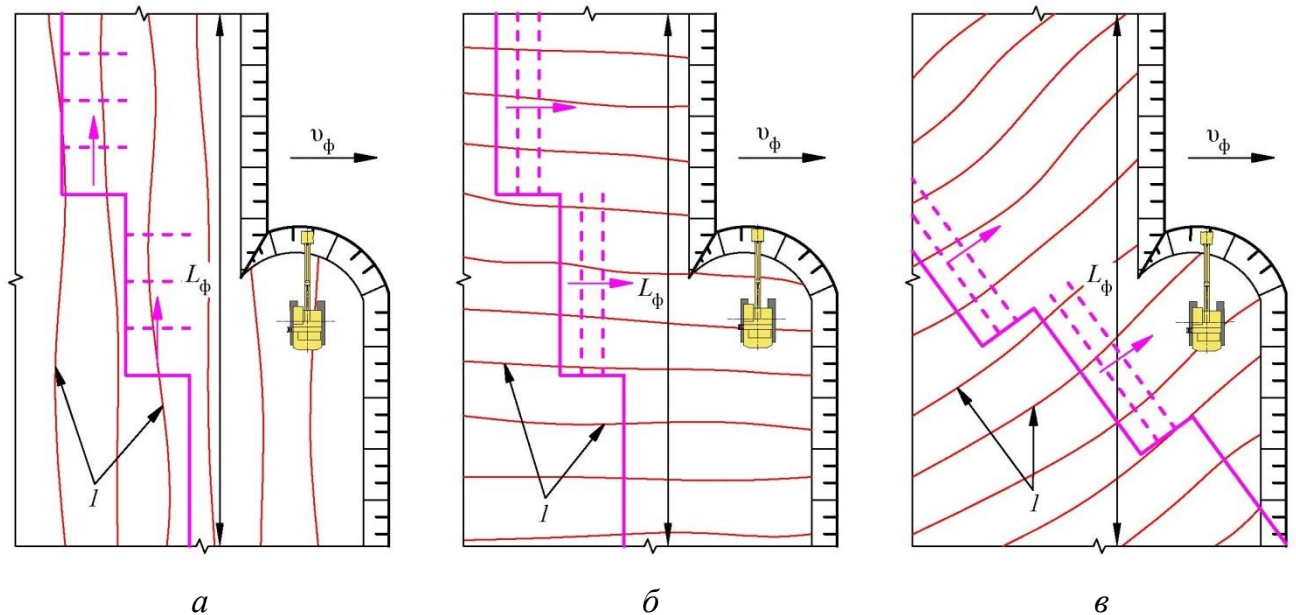


Рисунок 3.8 – Типы заходов при работе на продуктивных слоях специализированного участка: а) продольные; б) поперечные; в) диагональные; I – направления основной системы трещин; v_{ϕ} – направление подвигания фронта горных работ

На выбор параметров заходов в первую очередь влияет направление основной системы эндогенных трещин: продольная заходка используется тогда, когда основная система трещин направлена вдоль фронта горных работ (рисунок 3.8 а), поперечная, когда основная система трещин направлена перпендикулярно фронту горных работ (рисунок 3.8 б), диагональная, когда трещины направлены под углом к фронту горных работ (рисунок 3.8 в).

Способ отработки самого продуктивного слоя главным образом зависят от прочности межслоевых контактов (степени сцепления геологических отдельностей). На карбонатных месторождениях Русской платформы можно выделить несколько типов межслоевых контактов (таблица 3.3) [72].

Таблица 3.3 – Типизация межслоевых контактов по степени их сцепления (для карбонатных месторождений Русской платформы)

Тип и характеристика межслоевых контактов		Удельные усилия сцепления межслоевых контактов, т/м ²	Характер сцепления геологических отдельностей в слое	Рекомендуемые способы отработки продуктивных слоев на блочный камень	Стадийность добычи блока из продуктивного слоя
I	Слабые	4-10	Неплотная подгонка межслоевых контактов, которые имеют толщину 3–15 мм и заполнены слабосцементированными суглинками. В ряде случаях контакты не имеют заполнения	Непосредственная разборка гидравлическим экскаватором на геологические отдельности	Одностадийная
II	Средней прочности	11-22	Плотная подгонка межслоевых контактов. Межслоевые контакты имеют толщину 15–30 мм	Разборка гидравлическим экскаватором с предварительной подготовкой (вертикальным щелеобразованием) продуктивного слоя при помощи баровой машины	Двухстадийная
III	Прочные	23–40	Плотная подгонка вертикальных и особенно межслоевых контактов. Вертикальные контакты не имеют заполнения и зон выветривания. Межслоевые контакты имеют бугристую поверхность и заполнены плотносцементированным мергелем толщиной 10–50 мм	1. Выпиливание монолитов из продуктивного слоя при помощи баровых машин или кольцевых фрез	Одностадийная
				2. Предварительная подготовка к выемке специальными способами взрывания [27] с последующей разборкой гидравлическим экскаватором	Двухстадийная

Для контактов I и II типов целесообразно использование технологических схем добычи блочного камня, основанных на разборке массива экскаватором по природным разностным слоям. Для контактов III типа рекомендуется технология выпиливания блоков монолитов из продуктивных разностных слоев.

3.4. Технологические решения по экранированию продуктивных слоев от воздействия взрывных работ

Одной из важнейших составляющих при создании участка выемки блоков является экранирование продуктивного слоя от рабочей зоны карьера, где производство горных работ идет с использованием стандартных методов взрывной подготовки массива.

Взрывное разрушение сложноструктурных карбонатных массивов является весьма сложным процессом, что обусловлено экранированием значительной части энергии взрыва вертикальными трещинами и плоскостями межслоевых контактов (плоскостями слоистости). Каждая разделяющая трещина и плоскость слоистости являются препятствием, частично отражающим волны, частично преломляющим, а также поглощающим их. Упрощенно можно считать, что в результате взрыва разрушаются в основном только те геологические отдельности, в которых размещен заряд. Соседние отдельности взрывом почти не разрушаются (~5–7 % случаев разрушения). Их дробление носит вероятностный характер и происходит в основном за счет взаимных соударений смежных (отбитых взрывом) блоков.

В удаленных от взрыва зонах массива, нарушения его структуры, связанные с появлением сети техногенных трещин и остаточными деформациями, не фиксируются. Размер зоны, за которой массив можно считать ненарушенным, определяется с одной стороны интенсивностью взрывного воздействия, с другой – его структурой (частотой природных эндогенных трещин, прочностью межслоевых контактов, мощностью разностных слоев, хрупкостью горных пород и т. д.).

Определить размер зоны влияния взрыва можно по интенсивности поражения массива системой техногенных (взрывных) трещин. Отследить изменение (интенсивность) распространение последних можно путем проходки пионерной выработки с использованием технологии выпиливания горных пород (рисунок 3.9). Такая технология реализована на карьере Каменского месторождения.

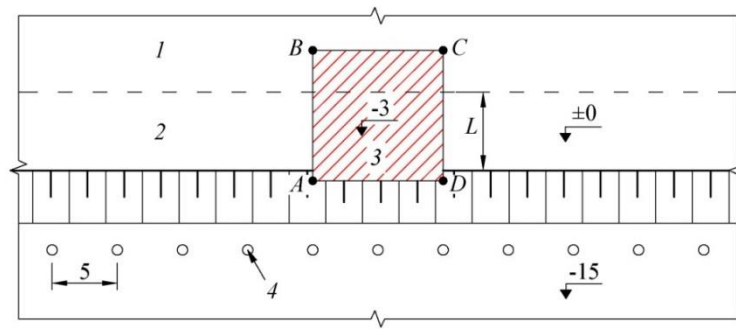


Рисунок 3.9 – Схема расположения пионерной разведочной выработки, проводимой методом выпиливания блоков горных пород из массива с формированием вертикальных обнажений (AB и CD), на которых выполнялся замер количества (интенсивности) взрывных трещин: 1 – ненарушенный массив (целик); 2 – нарушенный массив; 3 – разведочная выработка; 4 – последний ряд взрывных скважин; L – удаление от откоса уступа

По данным замеров трещин на плоскостях обнажений построена кривая, характеризующая интенсивность (суммарную длину) взрывных трещин в зависимости от удаления от откоса уступа в его верхней зоне высотой 3 м (точек A и D , рисунок 3.10).

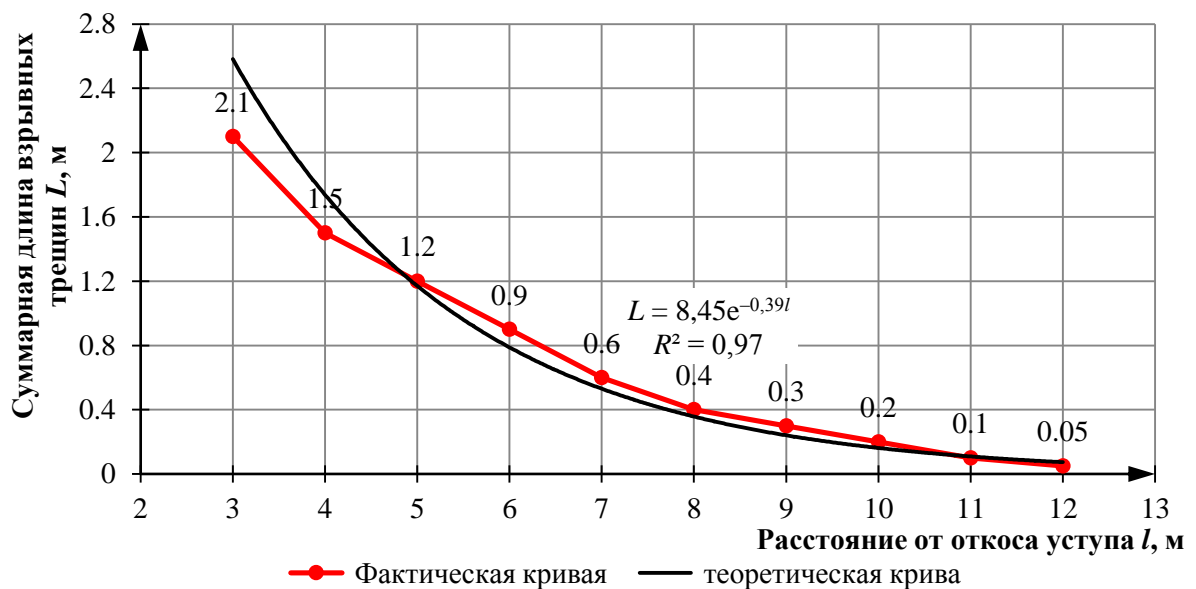


Рисунок 3.10 – Изменение интенсивности (суммарной длины) взрывных трещин при удалении от откоса уступа (точек A и D)

Кривая построена для следующих условий: удельный расход эталонного ВВ при производстве технологических взрывов составлял $0,47 \text{ кг/м}^3$, при сетке скважин 5×5 м и

диаметре заряда 160 мм; глубина разведочной выработки 3 м (каждый метр удаления от точек *A* и *D* вглубь массива соответствует 3 м² техногенного обнажения). Теоретическая зависимость изменения суммарной длины взрывных трещин от параметра *L* имеет вид $L = 8,45e^{-0,39l}$ (где *l* – удаление от откоса уступа). Характер полученной зависимости свидетельствует, что зона нарушений продуктивных слоев известняка составляет не более 8–10 м [4].

Взрыв скважинных зарядов вызывает деформации уступа главным образом в приповерхностной зоне. По данным В. К. Рубцова и А. Н. Ханукаева [79, 80] параметры этой зоны резко сокращаются к ее основанию. Зона нарушенности массива в нижней части уступа в 6–7 раз меньше чем в его верхней части. При диаметрах скважин 125–160 мм – зона нарушенности в нижней части уступа высотой 10 м составляет всего 1–1,5 м. При взрывании скважинных зарядов часть маломощных разностных слоев легко разрушаются в основном по линиям слоистости и контурам межслоевых контактов (рисунок 3.11).

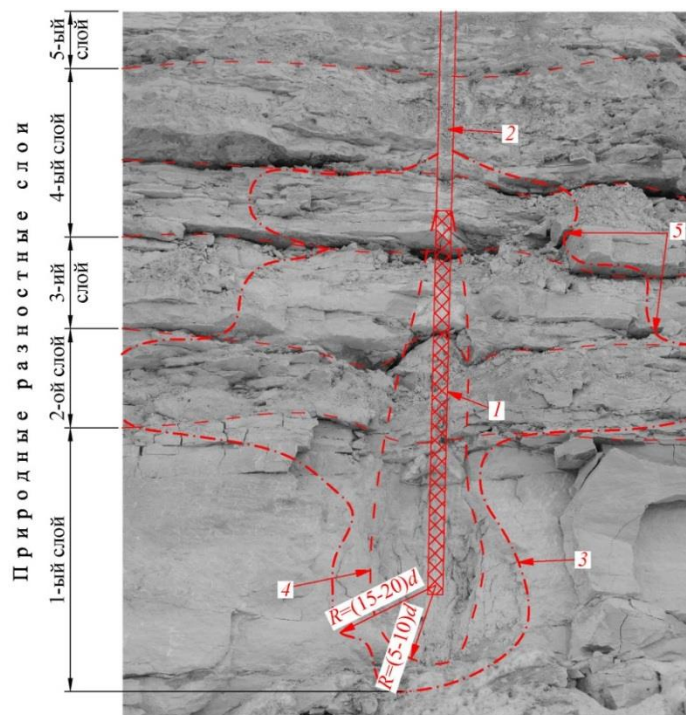


Рисунок 3.11 – Картина зон разрушения слоистого карбонатного массива (верхний уступ): 1 – контур скважины; 2 – зона скважины без ВВ; 3 – контур разрушаемого массива в мощном разностном слое; 4 – контур радиальных трещин; 5 – контур разрушаемого массива в маломощных слоях, обладающих явно выраженной анизотропией прочностных свойств вдоль и поперек слоистости; *d* – диаметр скважины

Верхние слои, расположенные в пределах не заряжаемой ВВ части скважины разрушаются исключительно по линиям внутренней слоистости и вертикальных природных трещин (5, рисунок 3.11).

Проблемными при взрывном разрушении слоистых массивов являются мощные разностные слои (от 0,5 до 1,2 м), не имеющие серьезной анизотропии прочностных свойств вдоль и поперек направления слоистости. Радиус зоны разрушения таких слоев минимален. Если для тонких слоев с выраженной анизотропией прочностных свойств зона разрушения (раскрытия линий слоистости) может составлять до $(20-30) \cdot d$, то для мощных разностных слоев эта величина составляет лишь $(5-10) \cdot d$.

Таким образом, в поперечном сечении зоны разрушения слоистого массива взрывом характеризуются крайне неравномерным контуром, а зоны разрушения в пределах маломощных слоев с явно выраженной анизотропией прочностных свойств (5, рисунок 3.11) имеют радиусы в 1,5–3,0 раза больше, чем для мощных разностных слоев. На базе вышесказанного можно сформировать принципиальную схему разрушения слоистого массива взрывом (рисунок 3.12).

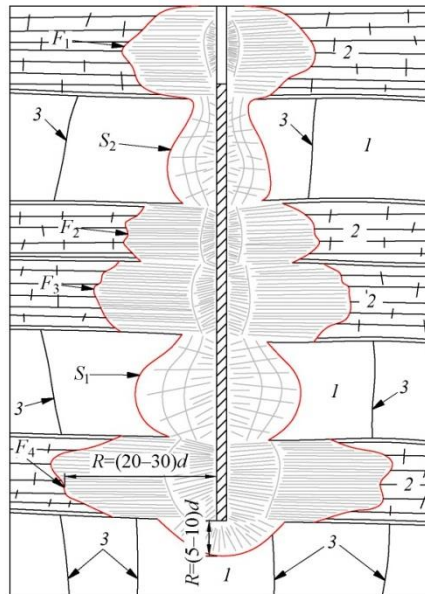


Рисунок 3.12 – Принципиальная схема разрушения слоистого массива осадочных пород при взрывании скважинных зарядов: 1 – мощные разностные слои, имеющие максимальную блочность и минимальную анизотропию прочностных свойств вдоль и поперек слоистости; 2 – разностные слои малой мощности, имеющие значительную анизотропию прочностных свойств; 3 – вертикальные межслоевые трещины в мощных разностных слоях; S_1 , S_2 – зоны радиальных трещин в мощных разностных слоях; F_1 – F_4 – то же, в маломощных разностных слоях; d – диаметр скважины

Согласно данной схеме мощные разностные слои (I), обладающие максимальной блочностью и минимальной анизотропией прочностных свойств, разрушаются с появлением зоны радиальных трещин значительных размеров (S_1 , S_2). Маломощные разностные слои, отчасти дезинтегрированные природными процессами, разрушаются в основном по линиям слоистости. Зона радиальных трещин здесь имеет минимальные размеры. Распространение нарушений в маломощных слоях (F_1 , F_2 , F_3 , F_4) имеют площадь, кратно превосходящую зоны S_1 , S_2 .

В связи с тем, что нарушение массива происходит как вглубь массива от фронта взрывных работ, так и ниже контура взрывных скважин, экранирование продуктивного слоя должно выполняться при помощи двух основных буферных зон (рисунок 3.13).

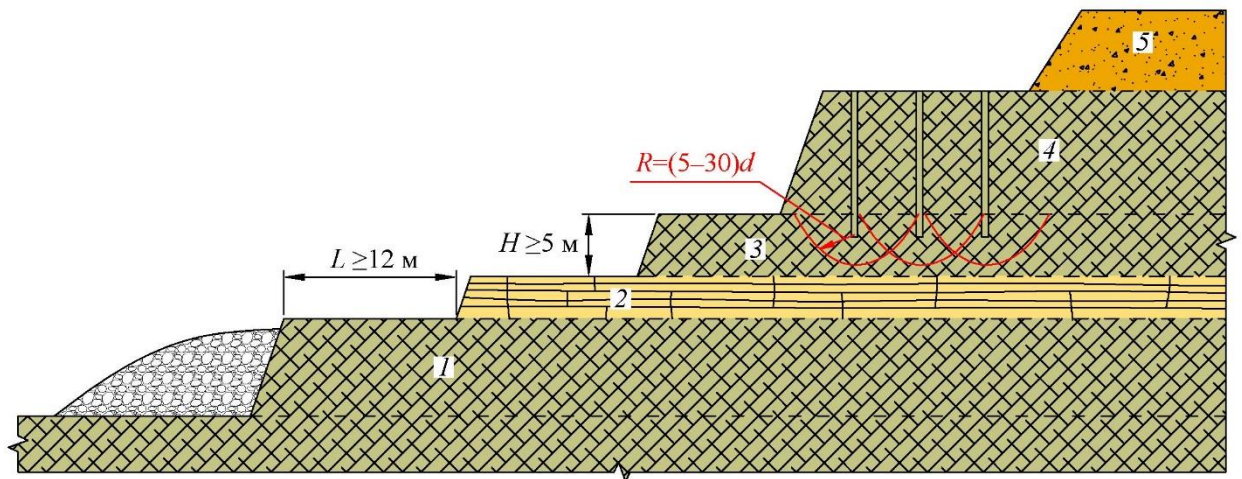


Рисунок 3.13 – Схема экранирования продуктивного слоя по добыче блочного камня от воздействия взрывных работ: 1 – первая буферная зона длиной L , которая позволяет защитить продуктивный слой от воздействия взрывных работ, проводимых на нижележащих уступах; 2 – продуктивный слой; 3 – вторая буферная зона, защищающая продуктивный слой от взрывных работ на вышележащих уступах; 4 – скальные породы, обрабатываемые с применением БВР; 5 – рыхлые породы; d – диаметр скважины

Первая буферная зона (рисунок 3.13) представляет собой часть массива, которая экранирует продуктивный слой от возможных негативных воздействий в результате ведения взрывных работ на нижележащих уступах карьера. Фактически она определяет расстояние, которое необходимо выдерживать между кровлей нижележащего уступа и нижней отметкой продуктивного слоя, обрабатываемого на блочный камень.

Вторая буферная зона по своей сути является промежуточным уступом (экранирующим слоем) между продуктивным слоем и вышележащими уступами. Этот

экранирующий слой (уступ) должен быть отработан безвзрывным способом так, что бы аккуратно подойти к кровле продуктивного слоя и тем самым обнажить его для последующей разборки.

В настоящее время существует много способов и комплексов оборудования для безвзрывной отработки горных пород. К ним относятся технологии с применением бульдозеров рыхлителей, горных комбайнов, гидромолотов и гидравлических экскаваторов [63, 64, 73, 83]. На выбор способа отработки экранирующего слоя оказывают влияние два фактора: характер межслоевых контактов и блочность массива. Рекомендуемые способы отработки в зависимости от этих факторов приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Возможные способы отработки экранирующего слоя (буферной зоны) в зависимости от геологических характеристик карбонатного массива

Характеристика экранирующего слоя (уступа)		Способ отработки			
Характер межслоевых контактов	Мощность слоев	Разборка гидравлическим экскаватором	Гидро-молот	Рыхлитель	Фрезерный комбайн
Слабой прочности	0,1–0,3	+	+	+	+
	0,4–0,8	+	+	–	+
Средней прочности и прочные	0,1–0,3	–	+	–	+
	0,4–0,8	–	+	–	+

Механическое рыхление массива имеет ограниченное применение. Его можно использовать на слабопрочных породах при небольшой мощности слоев.

Практически не имеют ограничения способы отработки с применением гидромолотов и фрезерных комбайнов. На многих карьерах гидромолоты используются для дробления негабаритов, образующихся в результате взрывных работ. При наличии участка по добыче блочного камня гидромолот может применяться на карьере как оборудование для отработки экранирующего слоя (рисунок 3.14).

Одним из важнейших преимуществ фрезерных комбайнов является их возможность обрабатывать породы в широком диапазоне крепости от 20 до 50–60 МПа и при этом получать непосредственно в самом забое дробленный материал для последующих сортировочных (фабричных) переделов. В зависимости от способа работы

все эти машины можно подразделить на два типа: фрезерные (шнеково-фрезерные) машины с послойной отработкой и стреловые комбайны [52–59].



Рисунок 3.14 – Безвзрывная разработка массива с применением гидромолота

Для отработки экранирующего слоя с подходом к кровле слоя блочного известняка стреловые комбайны более технологичны, чем машины послойного фрезерования (рисунок 3.15).



Рисунок 3.15 – Внешний вид стрелового фрезерного комбайна КГФ-80 и рабочего забоя при отработке известняков мячковского горизонта на Афанасьевском месторождении (Московская обл.)

При их использовании нет необходимости создания фронта горных работ значительной протяженности (1,5 – 2 км). После обнажения кровли продуктивного слоя стреловой комбайн позволяет подготовить разрезную траншею для создания

первоначального фронта выемки блочного камня (рисунок 3.16).



Рисунок 3.16 – Подготовка первоначального фронта для выемки блочного камня с использованием комбайна КГФ-80

Выводы по главе 3

1. Специализированные карьеры по добыче блочного известняка могут быть созданы при условии, что их текущие коэффициенты вскрыши не превышают значений предельных коэффициентов вскрыши ($K_{пр}$). Характерные значения предельных коэффициентов вскрыши для выемки блочных известняков укладываются в интервал от 6 до 8 м³/м³. При таких значениях $K_{пр}$ для большинства карбонатных месторождений Русской платформы (80–85 %) выемка блочных известняков может выполняться только «на принципах попутной выемки», когда в пределах рабочей зоны карьера, используемой для получения базовых типов минерального сырья, выделяется участок добычи блочного камня.

2. Размещение участка по добыче блочного камня в пределах основного карьера возможно как в рабочую так и не в нерабочую зону основного карьера. Достоинством последней является то, что специализированный участок не связан с технологическими процессами основного карьера и работы в нем могут планироваться без ограничений.

3. На участках по добыче блочного камня выбор направления подвигания фронта горных работ предопределяется природной трещиноватостью массива и анизотропией свойств продуктивных слоев. Когда направление фронта горных работ жестко заимитировано условиями отработки основного вида минерального сырья, оптимальные направления выемки блочного камня могут в определенном диапазоне регулироваться параметрами выемочных заходок.

4. По глубине залегания продуктивных слоев можно выделить три типа массивов пригодных для разработки на блочный камень. Наиболее простыми для отработки блочного камня являются массивы с приповерхностным залеганием продуктивных слоев (I тип), но для большинства массивов продуктивные слои блочных известняков располагаются на средних (II тип) и нижних (III тип) гипсометрических уровнях карбонатных месторождений.

5. Минимизировать негативное воздействие взрывных работ на продуктивные слои блочных известняков возможно путем создания специальных буферных зон шириной в плане не менее 12 м, а по глубине не менее 5–6 м (при типичных для карбонатных массивов удельных расходах эталонного ВВ от 0,37 до 0,45 кг/м³).

4. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ РАЗБОРКИ КАРБОНАТНЫХ МАССИВОВ

4.1. Опыт разборки карбонатных массивов по природным (разностным) слоям

Для разборки карбонатных массивов с I и II типами межслоевых контактов горное машиностроение дает весьма эффективный инструмент. Таким инструментом являются гидравлические экскаваторы массой от 20 до 75 т.

Опыт разборки карбонатных массивов на геологические отдельности свидетельствует, что на эффективность их работы мало влияет механическая прочность самих отдельностей. Важнейшим фактором здесь являются силы сцепления вынимаемого блока с нижележащим слоем и распорные усилия, возникающие вдоль природных трещин, оконтуривающих геологическую отдельность (блок).

Технология безвзрывной экскаваторной разборки мячковских известняков с предварительным ослаблением массива баровыми выработками была реализована на Афанасьевском месторождении (Московская область) [65]. Данная технология базируется на применении стрелового фрезерного комбайна КГФ-80, экскаватора ЭКГ-5 и мобильной камнерезной баровой установки БРК-210/140 (технологические параметры стрелового фрезерного комбайна КГФ-80 приведен в Приложении А).

Фрезерный комбайн КГФ-80 использован для отработки вмещающих слоев доломитов, предшествующих продуктивным горизонтам мячковских известняков. Комбайн устанавливался на кровлю продуктивного слоя мячковского известняка и выполнял вскрытие запасов последнего. Оработка продуктивных слоев осуществляется последовательно сверху вниз с предварительной подготовкой слоев к выемке посредством щелевых (баровых) выработок шириной 140 мм и глубиной до 1700 мм (рисунок 4.1). Проходка щелевых выработок выполняется мобильной баровой установкой БРК-210/140 (рисунок 4.2). В продуктивном разностном слое щелевые выработки ориентировались перпендикулярно основной системе вертикальных межслоевых трещин, что позволило увеличить выход товарных блоков и приблизить их форму к прямоугольной (рисунок 4.3). После подготовки продуктивных разностных слоев щелевыми выработками их разборка осуществлялась экскаватором ЭКГ-5 (рисунок 4.4).

Усилиями компании «Сибнеруд» на месторождении мраморизованного известняка «Любуши», расположенной в Тульской области, реализована технология

разборки массива известняка на базе гидравлических экскаваторов ЭО-5225 с рабочим органом прямая лопата. Продуктивные слои известняка представлены здесь геологическими отдельностями мощностью 0,4–0,7 м.



Рисунок 4.1 – Баровая выработка шириной 140 мм



Рисунок 4.2 – Подготовка продуктивного слоя мобильной баровой установкой
БРК-210/140



Рисунок 4.3 – Правильная прямоугольная форма блока известняка, извлеченного из разностного слоя на опытно-экспериментальном участке



Рисунок 4.4 – Экскаваторная разборка известняка, подготовленного к выемке баровой установкой

Межслоевые контакты между продуктивными слоями заполнены глинами. Зубья ковша заглубляются в глинистые прослойки. Поворотом ковша происходит отрыв геологической отдельности от массива (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Выламывание блока из продуктивного пласта

Придание блокам правильной геометрической формы осуществляется дополнительной операцией, которая заключается в пассивировке блоков алмазно-канатной пилой.

На Малеевском карьере в Рязанской области внедрена технология аналогичная технологии разработанной для Афанасьевского месторождения. Перед выемкой геологических отдельностей происходит подготовка продуктивных слоев с использованием щелевых выработок. Последующая разборка слоев выполняется экскаватором ЭО-4225 (рисунок 4.6) оборудованным специальным рыхлителем (риппером, рисунок 4.7), который устанавливается вместо стандартного экскаваторного ковша. Использование риппера (одностоечного рыхлителя) обеспечивает высокую концентрацию усилий в зоне контакта зуба рыхлителя с геологической отдельностью и в результате чего в 1,3–1,5 раза повышается эффективность экскаваторной разборки (в сравнении с использованием стандартного экскаваторного ковша).

На Щуровском месторождении реализована безвзрывная технология разборки карбонатного массива на базе гидравлического экскаватора Hitachi EX 1900 массой 186 т с оборудованием обратная лопата (рисунок 4.8). Машина использована для отработки зон месторождения, где запрещено ведение буровзрывных работ.



Рисунок 4.6 – Разборка массива экскаватором с риппером на Малеевском месторождении (Рязанская обл.)



Рисунок 4.7 – Специальный рыхлитель (риппер), использованный для разборки продуктивного разностного слоя известняка



Рисунок 4.8 – Гидравлический экскаватор Hitachi EX 1900 на Щуровском месторождении (Московская обл.)

Экскаватор может работать на разрыхленной горной массе с ковшем объемом до 12 м³. Для повышения эффективности безвзрывной разборки массива вместо стандартного ковша на нем установлен специальный «скальный» ковш фирмы «Смит» меньшего объема (8 м³, рисунок 4.9). Машина отрабатывает уступ доломитов мячковского горизонта высотой 2,5–2,7 м, состоящий из трех разностных слоев.



Рисунок 4.9 – Специальный скальный ковш объемом 8 м³

4.2. Анализ силовых характеристик выемочного оборудования для разборки массива на геологические отдельности

Процесс копания гидравлического экскаватора качественно отличается от механических лопат, что обусловлено основным конструктивным отличием – дополнительной свободой ковша. Наполнение ковша гидравлических экскаваторов обеспечивается преимущественно прямолинейным внедрением ковша в забой, с последующим его поворотом в вертикальной плоскости (рисунок 4.10 а) [31, 32, 37, 39, 40].

Процесс копания стандартной механической лопаты обеспечивается за счет напора рукояти экскаватора и подъема ковша, жестко закрепленного на рукояти. Движение ковша приближено к движению по окружности относительно центра, находящегося в точке крепления рукояти к стреле (рисунок 4.10 б).

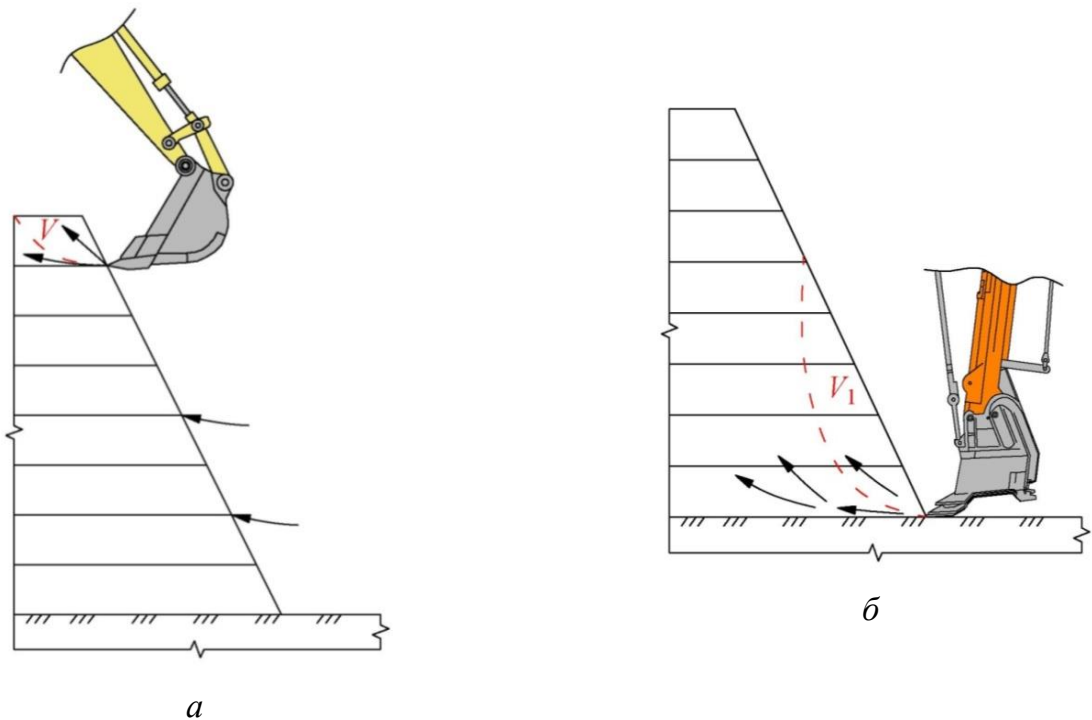


Рисунок 4.10 – Разница в рабочей технике между гидравлическим экскаватором и стандартной механической лопатой: а) гидравлический экскаватор при работе имеет возможность разрывать из массива выделенный пласт по межслоевому контакту (объем V); б) механическая лопата при работе разрывает несколько пластов (объем V_1)

Кинематические особенности гидравлических экскаваторов обеспечивают внедрение зубьев ковша в массив с усилиями, близкими к максимальным. Рассчитать

усилие внедрения зубьев ковша для прямой гидравлической лопаты можно по выражению:

$$P_{\text{в}} = \frac{F_v \cdot a}{a + m}, \text{ кН}, \quad (4.1)$$

где F_v – усилие цилиндра подачи рукояти, кН;

a, m – расстояния, показанные на рисунке 4.11.

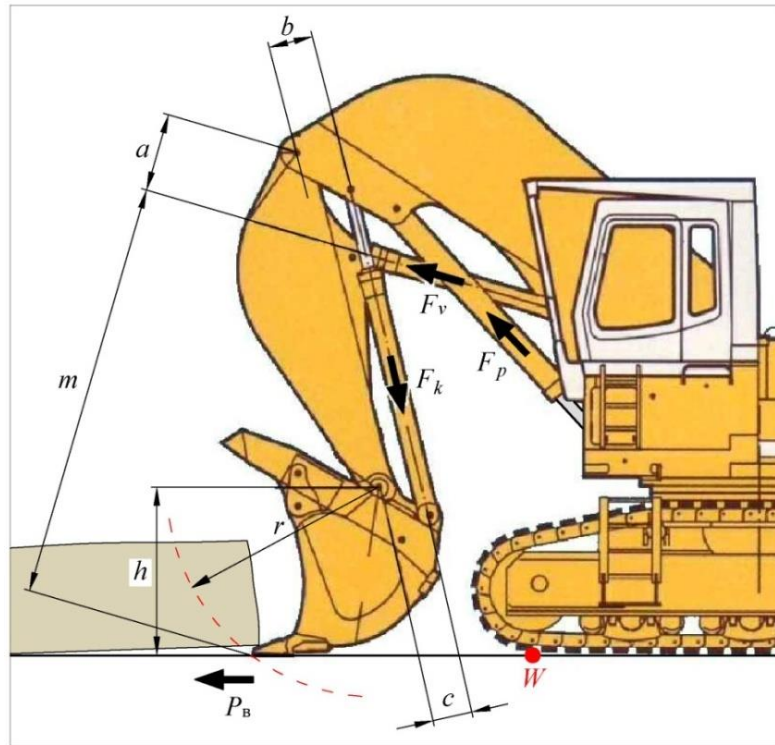


Рисунок 4.11 – Схема с параметрами для расчета усилий, создаваемых гидравлическим экскаватором (прямая лопата)

Наряду с усилием внедрения ковша у прямых гидравлических машин есть усилие выламывания, которое реализуется за счет поворота ковша и составляет:

$$P_{\text{выл}} = \frac{F_k \cdot c}{r}, \text{ кН}, \quad (4.2)$$

где c, r – расстояния, приведенные на рисунке 4.11.

Существует также понятие максимального вырывного усилия экскаватора. Для прямой лопаты это усилие, при котором фиксируется отрыв гусениц экскаватора относительно точки W (рисунок 4.11). При экскаваторной разборке отдельных слоев массива максимальное вырывное усилие обычно реализуется при повороте ковша (сила F_k) с последующим (совмещенным) подъемом стрелы (сила F_p) рисунок 4.12.

Для обратных гидравлических лопат усилие внедрения может быть рассчитано по выражению:

$$P_{\text{в.об}} = \frac{F_p \cdot a}{r}, \text{ кН}, \quad (4.3)$$

где F_p – усилие гидроцилиндров рукояти, кН;

a и r – параметры, показанные на рисунке 4.12.

Усилия выламывания у обратных лопат реализуются обычно посредством поворота ковша экскаватора (усилие F_k) относительно точки B , расположенной на тыльной стороне ковша (рисунок 4.12).

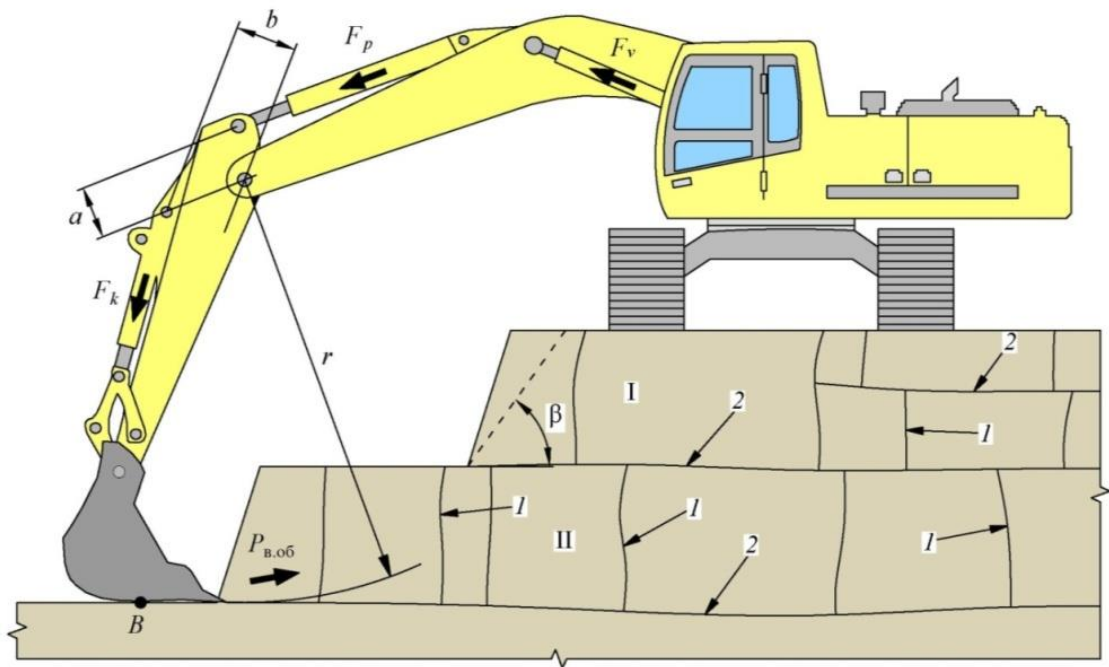


Рисунок 4.12 – Расчетная схема к определению усилий внедрения ковша обратной гидравлической лопаты в массив: I, II – разностные слои массива; 1 – вертикальные межслоевые трещины; 2 – контуры плоскостей слоистости; β – угол устойчивого откоса уступа

Максимальное вырывное усилие для обратных гидравлических лопат есть предельное выемочное усилие, превышение которого приводит либо к нарушению сцепления гусениц с опорной поверхностью (экскаватор «подтягивает» себя к забою), либо к отрыву гусениц экскаватора от данной поверхности. Величина вырывного усилия для гидравлических лопат связана с их массой (рисунок 4.13).

Вышесказанные особенности гидравлических экскаваторов делают их эффективным средством для разборки карбонатных массивов на геологические отдельности [34–36].

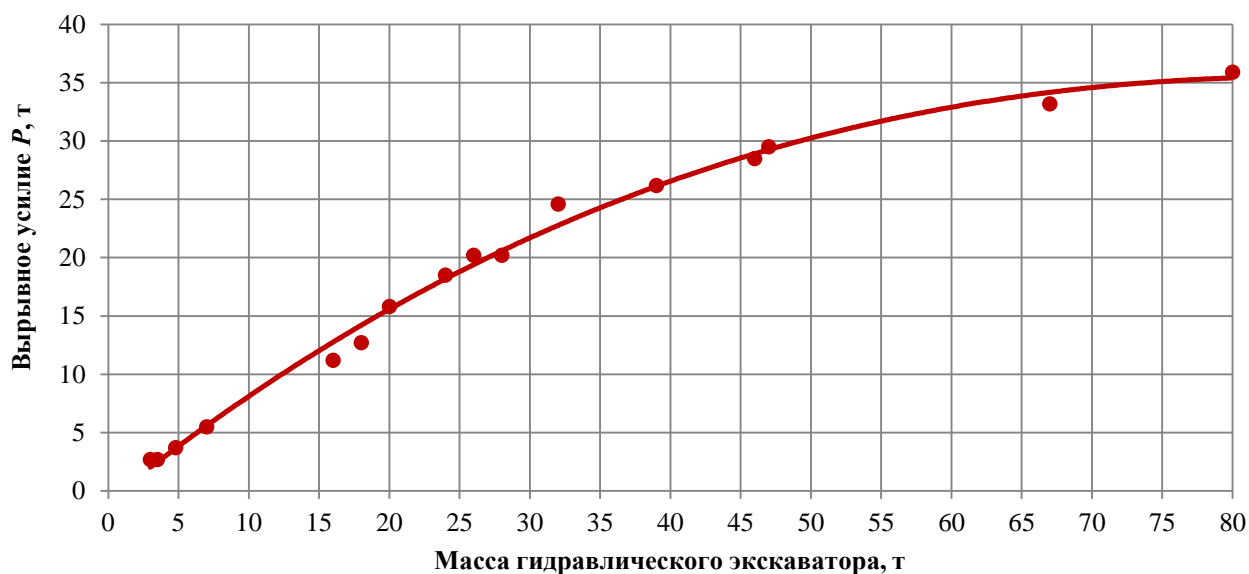


Рисунок 4.13 – График зависимости вырывного усилия гидравлических экскаваторов от их массы

При разборке массива важным является обеспечение точного внедрения зубьев ковша в зону межслоевого контакта. Важным преимуществом экскаваторов с прямой лопатой является то, что их вырывные усилия превосходят аналогичные у обратных лопат. Усилия выламывания у экскаваторов с прямой лопатой в среднем выше на 15–20 % чем у обратной (таблица 4.1) [33, 38, 48, 49].

Таблица 4.1 – Усилия выламывания для различных моделей гидравлических лопат

Модель	Емкость ковша, м ³	Масса, кг	Усилие выламывания, кН	
			Прямая лопата	Обратная лопата
ЭО-5225 (Россия, Воронеж)	1,8 (2,0)	38100	24,0	19,7
Komatsu Mining Germany (Demag) H55	3,0	56400	33,0	22,0
O&K RH 30	3,5	71400	40,0	33,0
Liebherr R964	3,0	62000	35,0	30,0
Hitachi ZX450LC	2,07	46200	26,4	18,5

Процесс разборки продуктивного слоя прямой гидравлической лопатой представлен на рисунке 4.14.

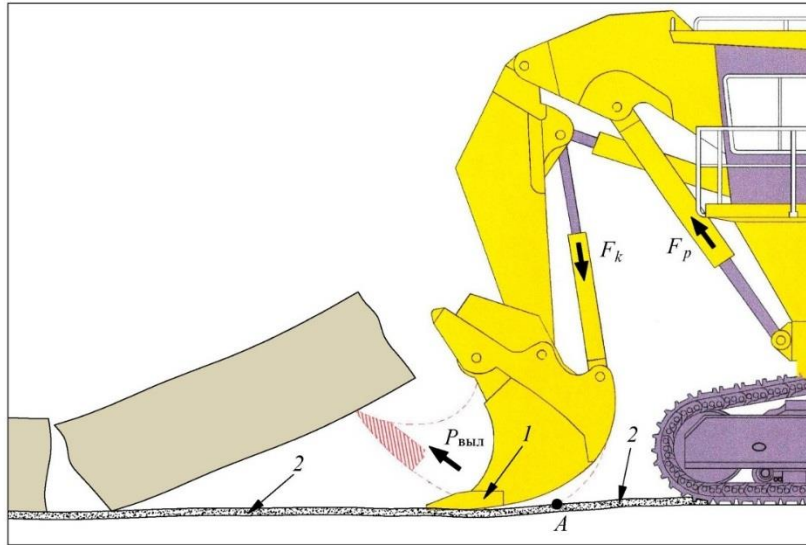


Рисунок 4.14 – Схема приложения нагрузок при разборке разностного слоя на геологические отдельности: 1 – зуб ковша в исходном положении; 2 – межслоевой контакт; $P_{\text{выл}}$ – направление основного усилия выламывания, обеспечивающего отрыв геологической отдельности; A – опорная точка (линия) на кровле межслоевого контакта относительно которой осуществляется поворот ковша при выламывании отдельности

Процесс отделения геологической отдельности от продуктивного пласта реализуется, когда вырывное усилие превысит силы сопротивления, возникающие при ее отрыве (рисунок 4.15) [78].

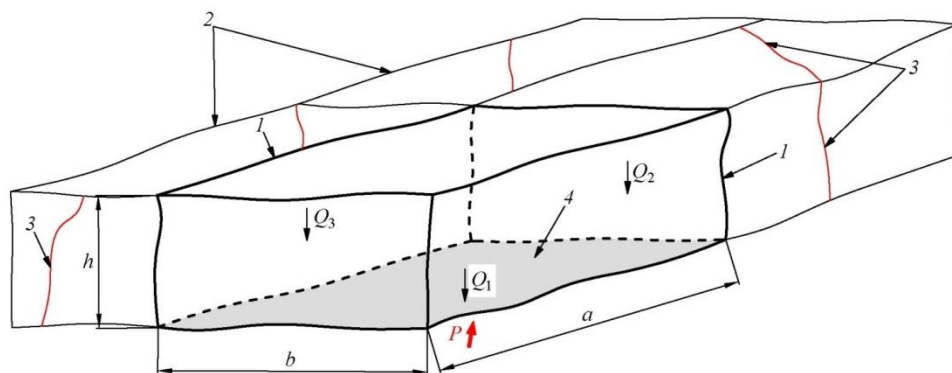


Рисунок 4.15 – Схема для расчета вырывного усилия при трех свободных поверхностях геологической отдельности: 1 – отделяемый структурный блок; 2 – природный (осадочный) массив; 3 – эндогенные трещины массива; 4 – зона (площадь) контакта геологической отдельности с нижележащим слоем; Q_1 – сила сцепления вырываемой отдельности с нижележащим разностным слоем массива; Q_2 – сила зацепления с

торцевой зоной отделяемого блока; Q_3 – то же с основной (наиболее длинной) частью вырываемого блока; P – вырывное усилие выемочной машины; a, b, h – длина, ширина и высота извлекаемого блока (геологической отдельности)

Основными показателями, влияющими на величину суммарного сопротивления выламывания, является вид и количество контактов, по которым осуществляется отрыв. Условия, в которых обычно работает гидравлический экскаватор при разборке массива, приведены на рисунке 4.16.



а



б



в

Рисунок 4.16 – Процесс внедрения ковша экскаватора в межслоевой контакт геологических отдельностей и выемка блока из продуктивного пласта: а) внедрение зубьев ковша экскаватора в межслоевой контакт; б) поднятие ковша с последующим отделением геологической отдельности; в) перемещение геологической отдельности ковшом экскаватора

В момент приложения нагрузки (P) к вырываемой отдельности возникают следующие силы сопротивления:

1. $Q_{\text{сц}}$ – сила сцепления вырываемой отдельности с кровлей нижележащего межслоевого контакта (прослойка). Величина $Q_{\text{сц}}$ может быть весьма значительной, если породы межслоевого контакта представлены плотными мергелями. В ряде случаев

прочные межслоевые контакты не разрушаются даже при ведении взрывных работ (рисунок 4.17). Параметр $Q_{\text{сц}}$ может быть определен по выражению:

$$Q_{\text{сц}} = S_{\text{сц}} \cdot K_{\text{сц}}, \text{ т/м}^2, \quad (4.4)$$

где $S_{\text{сц}}$ – площадь подошвы вынимаемой отдельности, м^2 ;

$K_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления подошвы отдельности с кровлей межслоевого контакта, т/м^2 .

2. G – вес вырываемой геологической отдельности:

$$G = V_6 \cdot \gamma, \text{ т}, \quad (4.5)$$

где V_6 – объем вырываемой геологической отдельности, м^3 ;

γ – объемный вес породы, слагающей геологическую отдельность, т/м^3 .



Рисунок 4.17 – Крупный блок, отделенный от массива, с использованием контурной отбойки: I – прочный межслоевой контакт по которому не произошло разрушение блока при производстве взрывных работ (Добрятинский карьер)

3. $Q_{\text{зац1}}, Q_{\text{зац2}}$ – силы зацепления вырываемой геологической отдельности со смежными блоками:

$$Q_{\text{зац1,2}} = S_{\text{зц}} \cdot K_{\text{зц}}, \text{ т/м}^2, \quad (4.6)$$

где $S_{\text{зц}}$ – общая площадь зон вертикальных контактов со смежными геологическими отдельностями (данный параметр определяется схемой экскаваторной разборки, а именно блокированная, полублокированная, свободная), м^2 ;

$K_{зц}$ – коэффициент зацепления геологической отдельности с торцами смежных блоков, т/м².

Для отрыва геологической отдельности необходимо чтобы момент вырывного усилия превысил сумму всех моментов сопротивления. Это условие можно представить следующим выражением:

$$M(P) > M(G) + M(Q_{сц}) + M(\sum Q_{заци}), \quad (4.7)$$

где $\sum Q_{заци}$ – суммарная величина сил зацепления выламываемой отдельности со смежными блоками, т/м².

Момент вырывного усилия равен произведению вырывного усилия, направленного перпендикулярно горизонту поверхности, на ширину вырывающейся геологической отдельности (b):

$$M(P) = P \cdot b. \quad (4.8)$$

Так как сила массы приложена в центре геологической отдельности, то для момента сопротивления плечо будет равно половине ширины отдельности;

$$M(G) = G \cdot \frac{b}{2} = a \cdot b \cdot h \cdot \gamma \cdot \frac{b}{2} = \frac{1}{2} \cdot b^2 \cdot a \cdot h \cdot \gamma, \quad (4.9)$$

где a – длина геологической отдельности в продуктивном слое (расстояние между господствующими трещинами), м;

b – ширина геологической отдельности в продуктивном слое (расстояние между второстепенными трещинами), м;

h – высота геологической отдельности в продуктивном слое (мощность продуктивного слоя), м.

Силы горизонтального сцепления и вертикального зацепления распределяются равномерно по площади отдельности. Их плечо можно принять равным половине ширины отдельности:

$$M(Q_{сц}) = S_{сц} \cdot K_{сц} \cdot \frac{b}{2} = a \cdot b \cdot K_{сц} \cdot \frac{b}{2} = \frac{1}{2} \cdot b^2 \cdot a \cdot K_{сц}, \quad (4.10)$$

$$M(Q_{заци2}) = S_{зц} \cdot K_{зц} \cdot \frac{b}{2} = b \cdot h \cdot K_{зц} \cdot \frac{b}{2} = \frac{1}{2} \cdot b^2 \cdot h \cdot K_{зц}. \quad (4.11)$$

У момента сопротивления, создаваемый силой $Q_{заци1}$, плечо будет равно половине высоты отдельности (мощности продуктивного слоя):

$$M(Q_{заци1}) = S_{зц} \cdot K_{зц} \cdot \frac{h}{2} = a \cdot h \cdot K_{зц} \cdot \frac{h}{2} = \frac{1}{2} \cdot h^2 \cdot a \cdot K_{зц}. \quad (4.12)$$

Подставляем полученные результаты в выражение (4.7) получаем:

$$P \cdot b > \frac{1}{2} \cdot b^2 \cdot a \cdot h \cdot \gamma + \frac{1}{2} \cdot b^2 \cdot a \cdot K_{\text{сц}} + \frac{1}{2} \cdot b^2 \cdot h \cdot K_{\text{зц}} + \frac{1}{2} \cdot h^2 \cdot a \cdot K_{\text{зц}}. \quad (4.13)$$

или

$$P > \frac{a \cdot b \cdot h}{2} \left(\gamma + \frac{K_{\text{сц}}}{h} + \frac{K_{\text{зц}}}{a} + \frac{h \cdot K_{\text{зц}}}{b^2} \right). \quad (4.14)$$

В том случае, когда перед выемкой геологических отдельностей гидравлическим экскаватором производится подготовка продуктивного слоя при помощи баровых выработок, появляется дополнительная свободная поверхность, а сила сопротивления $Q_{\text{зц1}}$ отсутствует.

Формула для расчета в данном случае будет выглядеть следующим образом:

$$P_2 > \frac{a \cdot l \cdot h}{2} \left(\gamma + \frac{K_{\text{сц}}}{h} + \frac{K_{\text{зц}}}{a} \right), \quad (4.15)$$

где l – расстояние между техногенными выработками (баровыми бороздами), м.

Для практических расчетов коэффициента сцепления отдельностей с кровлей нижележащего слоя ($K_{\text{сц}}$) можно приравнять к показателю сцепление частиц грунта (таблица 4.2) [76]. Значение коэффициента зацепления ($K_{\text{зц}}$) поверхностей (плоскостей слоистости) смежных блоков может изменяться в интервале 5–15 т/м², в зависимости от вида заполняющего материала.

Таблица 4.2 – Значения коэффициента сцепления для практических расчетов

Наименование материала, заполняющего межслоевой контакт	Коэффициент сцепления отдельности с межслоевым контактом ($K_{\text{сц}}$), т/м ²
Суглинки	1,9–6,8
Глины, мергель	3,7–8,2
Жирные глины	4,7–9,4

В процессе создания ослабляющих техногенных плоскостей (баровых выработок) происходит не только образование свободной поверхности, но и частичное расшатывание массива, приводящее к частичному ослаблению межслоевых контактов.

В ходе экспериментальных работ по разборке продуктивных слоев установлено, что сила сцепления геологических отдельностей с нижним межслоевым контактом неравномерно распределена по площади последнего. В пределах контуров выемочного полигона встречаются локальные зоны площадью от 20 до 120 м², в которых значение коэффициента сцепления межслоевых контактов превышают вырывные усилия,

создаваемые гидравлическим экскаватором. Данное обстоятельство в ходе экскаваторной разборки приводит к оставлению целиков (рисунок 4.18).

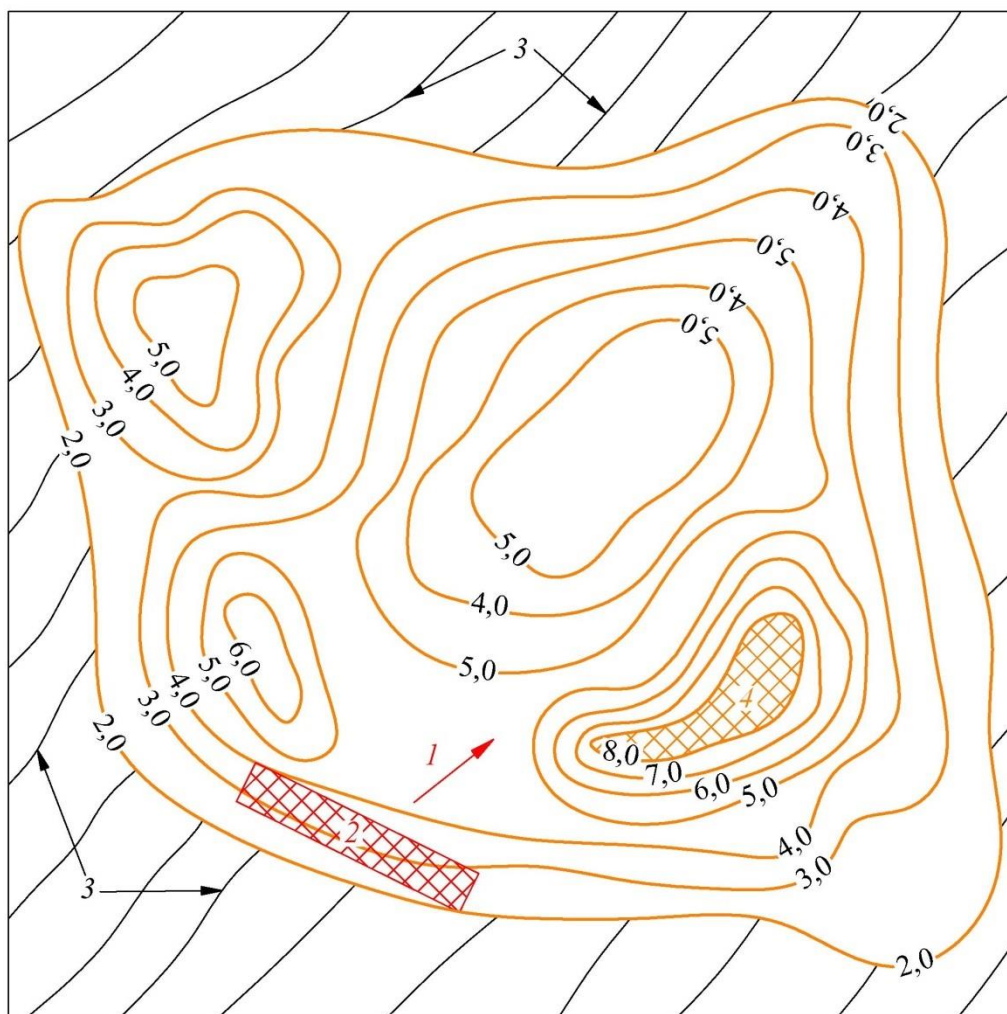


Рисунок 4.18 – Геометризация значений коэффициента сцепления геологических отдельностей с кровлей межслоевого контакта в пределах продуктивного слоя мячковского известняка: 2,0; 3,0 ... 7,0 – значения $K_{сц}$ в размерности $т/м^2$; 1 – направление фронта выемки; 2 – контур добычной заходки; 3 – межслоевые вертикальные (эндогенные) трещины основной системы; 4 – зона продуктивного слоя с повышенным значением $K_{сц}$ (разборка данной зоны гидравлическим экскаватором массой 18–21 т невозможна)

Сцепление соседних разностных слоев в пределах целиков (неразбираемых зон) осуществляется посредством прослоев мергеля различной мощности. Данный тип глинистых пород при переменном замораживании и оттаивании эффективно разупрочняется.

В центральном регионе России температурный режим за осенний, зимний и весенний сезоны много раз переходит из положительных значений в отрицательные и обратно (до 50 циклов). Последнее позволяет ослабить межслоевые контакты продуктивного слоя с нижележащим слоем вмещающих пород (рисунок 4.19).

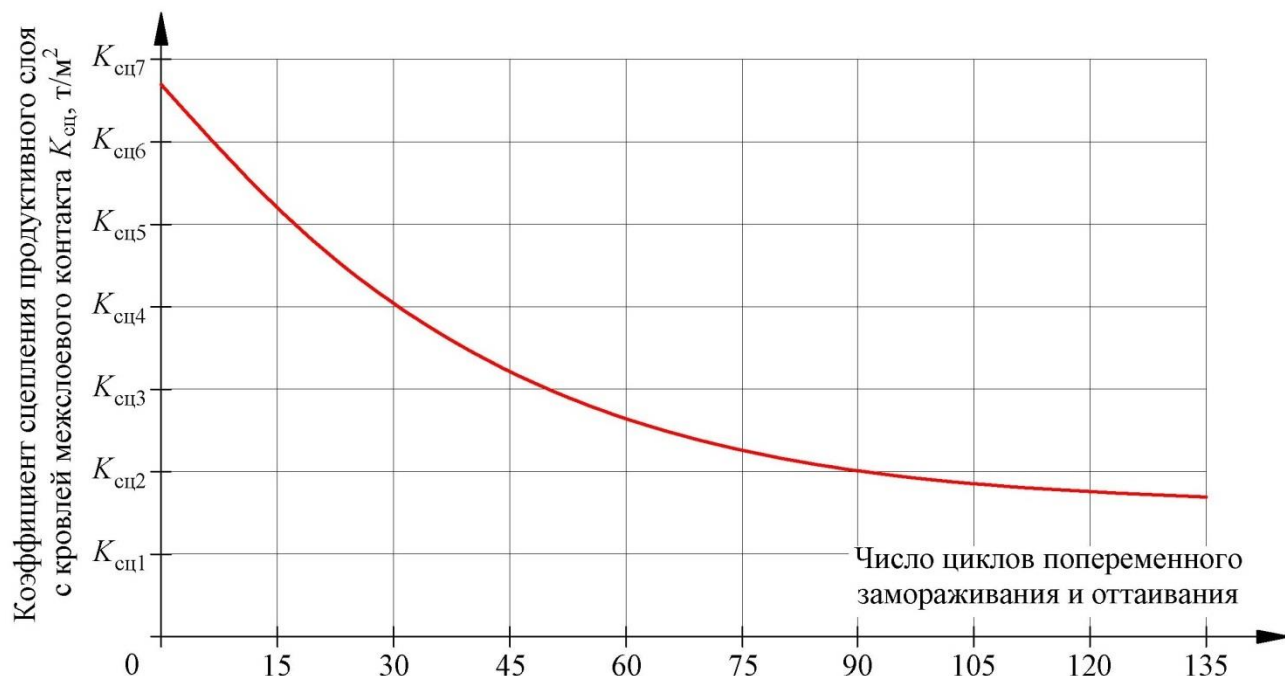


Рисунок 4.19 – Зависимость коэффициент сцепления продуктивного слоя с кровлей межслоевого контакта от числа циклов попеременного замораживания и оттаивания

Данные рисунка 4.19 свидетельствуют, что за один сезон прочность межслоевых контактов может уменьшиться в 2–3 раза. Это позволяет без привлечения более мощного экскаватора или дополнительного оборудования (как например, баровая установка) и, следовательно, без увеличения расходов в весенне-летний период следующего года разбирать оставленные целики по базовой технологии.

4.3. Производительность экскаватора при безвзрывной разборке карбонатного массива на геологические отдельности

Усилиями проектно-экспертного центра НИТУ МИСиС проведены экспериментальные работы по разборке продуктивных слоев белых известняков на Баишевском месторождении, имеющие целью определить фактические значения прочности межслоевых контактов, выхода кондиционных блоков из продуктивного слоя

и производительности экскаватора при послойной разборке карбонатного массива. Разборка данных слоев осуществлялась гидравлическими экскаваторами массой от 18 до 21 т (Hitachi ZX 180, Hyundai R210NLC, рисунок 4.20).



Рисунок 4.20 – Послойная безвзрывная экскаваторная разборка карбонатного массива экскаватором Hitachi ZX180 с максимальными вырывными усилиями ~12 т (Баишевское месторождение, Рязанская обл.)

На данном участке продуктивные слои мячковских известняков имеют мощность 0,5–0,6 м, сложены геологическими отдельностями объемом 0,1–2,3 м³. Средний выход товарных блоков из продуктивного слоя составляет 29-31 %. Эффективная производительность экскаватора по блокам 6-8 м³/ч, а по горной массе 21-25 м³/ч (таблица 4.3). Средний объем кондиционных (добытых) блоков составляет 1,1–1,3 м³ (рисунок 4.21).

Таблица 4.3 – Результаты экспериментальных работ по разборке продуктивных слоев на Баишевском месторождении (Рязанская обл.)

Показатели	Периоды					Итого (средние значения)
	I	II	III	IV	V	
Объем добытых блоков, м ³	180	242	138	186	188	746
Количество добытых блоков, шт.	155	188	116	150	153	609
Средний объем геологической отдельности, м ³	1,16	1,29	1,19	1,24	1,23	(1,22)

Показатели	Периоды					Итого (средние значения)
	I	II	III	IV	V	
Объем разобранной горной массы из продуктивного слоя, м ³	643	733	511	600	648	3136
Коэффициент выхода блоков из продуктивного слоя	0,28	0,33	0,27	0,31	0,29	(0,30)
Время работы экскаватора на добычу блоков из продуктивного слоя, мот. ч	29	25,5	24	25	28	131,5
Эксплуатационная производительность экскаватора по кондиционным блокам, м ³ /ч	6,21	9,49	5,75	7,44	6,71	(7,12)
Эксплуатационная производительность экскаватора по горной массе, м ³ /ч	22,17	28,76	21,30	24,00	23,15	(23,87)



Рисунок 4.21 – Добытые кондиционные блоки известняка (Баишевское месторождение, Рязанская обл.)

В первой стадии разборки разностного слоя (отрыв геологической отдельности) экскаваторный ковш используется как силовое гидравлическое устройство

(гидродомкрат), создающий растягивающие вырывные усилия в плоскости межслоевого контакта. В таких условиях определение производительности экскаватора по базовым (стандартным) методикам не может быть использовано [30, 41, 42].

Вместо значения емкости ковша (E), которое используется в базовых формулах, необходимо применять параметр, называемый средним объемом геологической отдельности ($V_{г.о.ср}$). В этом случае расчетная формула технической производительности экскаватора на разборке будет выглядеть следующим образом:

$$Q_T = \frac{60}{T_{ц}} \cdot V_{г.о.ср}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (4.16)$$

где $T_{ц}$ – продолжительность цикла выемки (выламывания) геологической отдельности, мин.

Расчет времени выламывания можно охарактеризовать следующим выражением:

$$T_{ц} = t_{зач} + t_{подг} + t_{в} + t_{пер}, \text{ мин}, \quad (4.17)$$

где $t_{зач}$ – время зачистки кровли продуктивного пласта, мин;

$t_{подг}$ – время подготовки блока к выемке, включающее внедрение зубьев экскаватора в межслоевой контакт и отрыв геологической отдельности от массива, мин;

$t_{в}$ – время извлечения и перемещения геологической отдельности (блока) для складирования, мин;

$t_{пер}$ – время перемещения экскаватора в исходную позицию, мин.

Эксплуатационная производительность – производительность экскаватора за определенный промежуток времени (смену, сутки, месяц, год) с учетом всех факторов, влияющих на ее величину. Она определяется по выражению:

$$Q_{см} = Q_T \cdot K_{упр} \cdot K_{нп} \cdot K_{ис} \cdot K_{кл} \cdot t_{см}, \text{ м}^3/\text{смену}, \quad (4.18)$$

где $K_{упр}$ – коэффициент управления, учитывающий несоответствия паспортных и фактических параметров забоя и квалификации машиниста ($K_{упр}=0,90-0,95$);

$K_{нп}$ – поправочный коэффициент на непредвиденные простои экскаватора ($K_{нп}=0,94-0,98$);

$K_{ис}$ – коэффициент использования времени смены:

$$K_{ис} = \frac{t_{см} - (t_{пз} + t_{в} + t_{отд})}{t_{см}} = \frac{9 - (1 + 2 + 1)}{9} = 0,55, \quad (4.19)$$

где $t_{см}$ – продолжительность рабочей смены, ч;

$t_{пз}$ – время выполнения подготовительно-заключительных операций, ч;

$t_{в}$ – время на выполнение вспомогательных операций, ч;

$t_{\text{отд}}$ – время на обед, ч;

$K_{\text{кл}}$ – коэффициент климата, оценивающий неблагоприятные условия работы ($K_{\text{кл}}=0,94-0,98$).

Годовая производительность экскаватора составит:

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{см}} \cdot K_{\text{хх}} \cdot K_{\text{р}} \cdot n_{\text{см}} \cdot T_{\text{год}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.20)$$

где $K_{\text{хх}}$ – коэффициент холостого хода (0,96), учитывающий потери производительности экскаватора за счет его холостых переходов, предусмотренных схемой работы:

$$K_{\text{хх}} = \frac{t_{\text{отр}}}{t_{\text{отр}} + t_{\text{хх}}}, \quad (4.21)$$

где $t_{\text{отр}}$ – время отработки, ч;

$t_{\text{хх}}$ – время холостого хода, ч;

$K_{\text{р}}$ – коэффициент, учитывающий простои, связанные с плановыми ремонтами (0,96–0,98):

$$K_{\text{р}} = \frac{T_{\text{год}} - t_{\text{р}}}{T_{\text{год}}}, \quad (4.22)$$

где $T_{\text{год}}$ – число рабочих дней экскаватора в течение года, сут;

$t_{\text{р}}$ – время, затрачиваемое на плановые ремонты в течение года, сут;

$n_{\text{см}}$ – количество смен в сутки.

Приняв произведение всех поправочных коэффициентов в диапазоне 0,40–0,45, формулу для расчета эффективной часовой производительности гидравлического экскаватора при послойной разборке массива можно представить в следующем виде:

$$Q_{\text{эф}} = 24 \cdot \frac{V_{\text{г.о.ср}}}{T_{\text{ц}}}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (4.23)$$

На выбор модели гидравлического экскаватора для разборки продуктивных слоев на блочный камень оказывают влияние два основных фактора: силы сцепления геологических отдельностей и объем (вес) последних. С увеличением сил сцепления требуется использование более крупных моделей экскаватора, имеющих большие капитальные и эксплуатационные затраты. Зависимость изменения стоимости экскаватора и его эксплуатационных затрат от вырывных усилий и массы экскаватора характеризуются кривыми, изображенными на рисунке 4.22.

Зная эффективную часовую производительность ($Q_{\text{эф}}$) и издержки на содержание экскаватора ($З_{\text{э}}$), можно определить удельные эксплуатационные затраты на 1 м³ добытого блока:

$$З_{\text{б.экс}} = \frac{З_{\text{э}}}{Q_{\text{эф}}}, \text{ руб/м}^3. \quad (4.24)$$

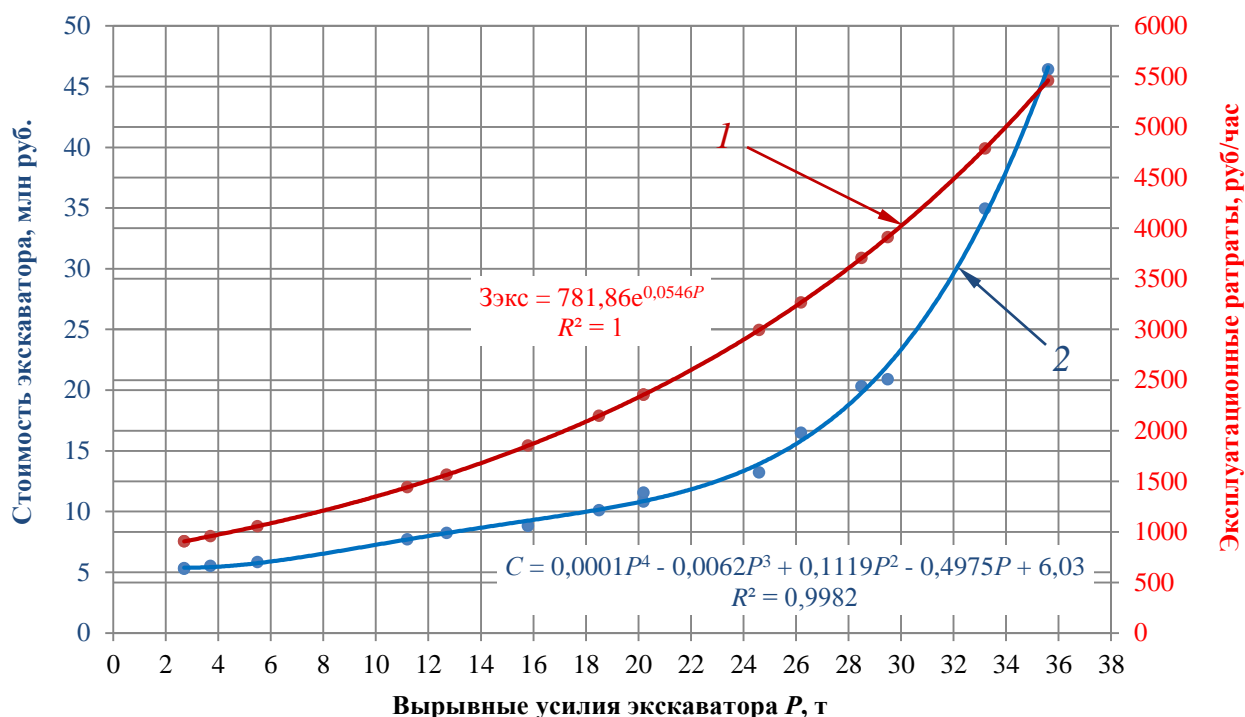


Рисунок 4.22 – Изменение стоимости экскаватора (2) и эксплуатационных затрат (1) в зависимости от вырывных усилий гидравлических экскаваторов

Изменение эксплуатационных удельных затрат ($З_{\text{б.экс}}$) от вырывных усилий экскаватора и среднего размера геологических отдельностей приведено в таблице 4.4 и в виде графика рисунок 4.23.

Таблица 4.4 – Изменение удельных эксплуатационных затрат ($З_{\text{б.экс}}$) на выемку 1 м³ товарных блоков в зависимости от вырывных усилий экскаватора и блочности продуктивного слоя

Средний объем геологической отдельности, м ³	Эффективная производительность экскаватора, м ³ /час	Удельные эксплуатационные затраты на 1 м ³ добытого блока, руб/м ³					
		666,67	800,00	1000,00	1300,00	1600,00	2083,33
0,50	3,00	666,67	800,00	1000,00	1300,00	1600,00	2083,33
0,75	4,50	444,44	533,33	666,67	866,67	1066,67	1388,89

Средний объем геологической отдельности, м ³	Эффективная производительность экскаватора, м ³ /час	Удельные эксплуатационные затраты на 1 м ³ добытого блока, руб/м ³					
		333,33	400,00	500,00	650,00	800,00	1041,67
1,00	6,00	333,33	400,00	500,00	650,00	800,00	1041,67
1,25	7,50	266,67	320,00	400,00	520,00	640,00	833,33
1,50	9,00	222,22	266,67	333,33	433,33	533,33	694,44
1,75	10,50	190,48	228,57	285,71	371,43	457,14	595,24
Вырывное усилие экскаватора, т		12,7	15,8	20,2	24,6	28,5	33,2
Эксплуатационные затраты, руб/час		2000,00	2400,00	3000,00	3900,00	4800,00	6250,00
Масса экскаватора, т		16-18	20	24-28	32	46	67

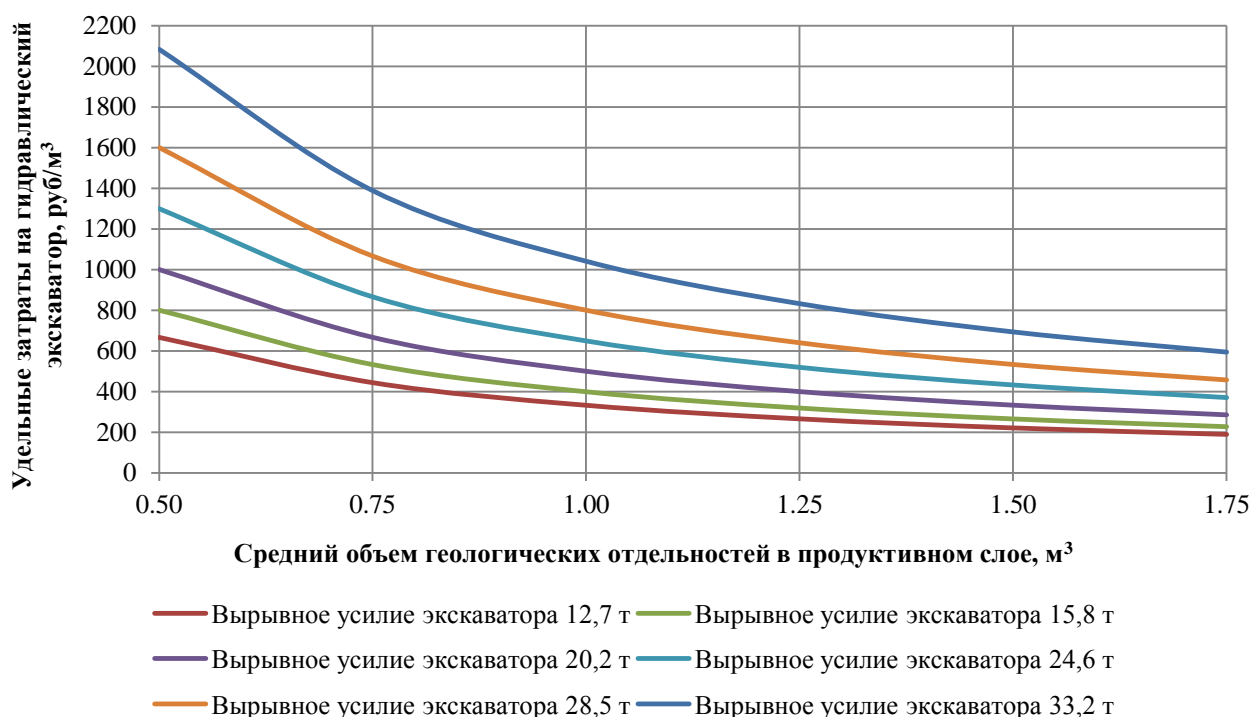


Рисунок 4.23 – Изменение удельных эксплуатационных затрат ($Z_{б.экс}$) на выемку 1 м³ товарных блоков в зависимости от вырывных усилий экскаватора и блочности продуктивного слоя

4.4. Оптимизация расстояния между баровыми выработками для подготовки продуктивного слоя к разборке гидравлическим экскаватором

Эффективным способом ослабления продуктивного слоя перед экскаваторной разборкой является проходка баровых выработок (щелей). Пиление щелей может осуществляться под разными углами к трещинам основной системы рисунок 4.24.

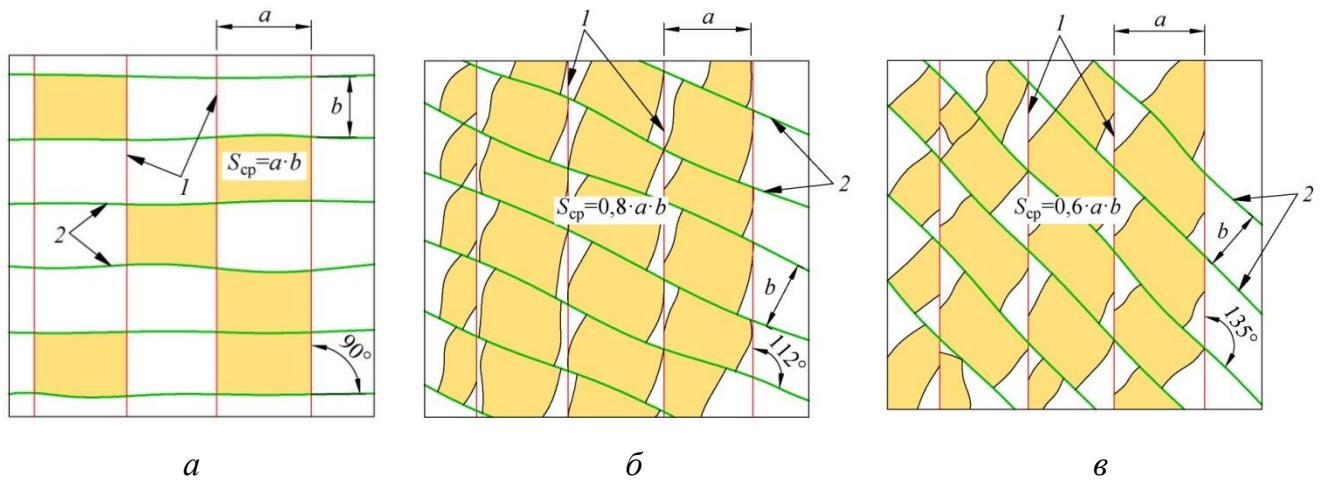


Рисунок 4.24 – Схема, иллюстрирующая изменение объема и морфологии извлекаемых блоков в зависимости от ориентации щелей (баровых выработок) относительно основной системы трещин продуктивного слоя в карбонатном массиве: а) ориентация баровых выработок относительно основной системы трещин под углом 90° ; б) то же, под углом 112° ; в) то же, под углом 135° ; 1 – баровые выработки; 2 – основная система трещин; a – расстояние между смежными баровыми выработками; b – расстояние между смежными трещинами; S_{cp} – средняя площадь товарного блока

Угол пересечения (угол встречи) щелей с основной системой трещин продуктивного слоя предопределяет средний объем и выход извлекаемых блоков рисунок 4.25.

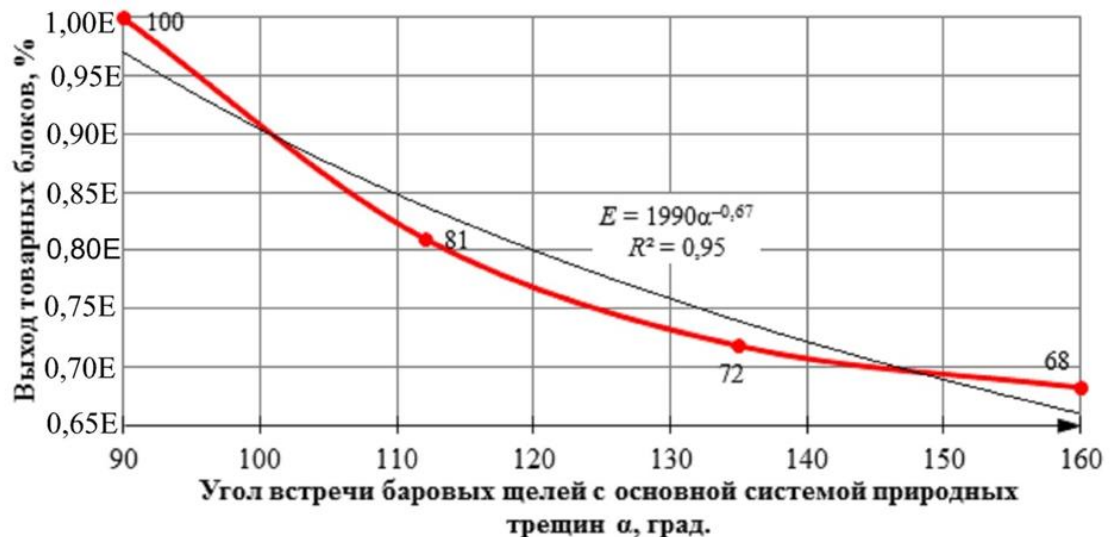


Рисунок 4.25 – Кривая изменения выхода геологических отдельностей в зависимости от углов встречи баровых щелей с основной системой трещин продуктивного слоя (E – максимально возможный выход товарных блоков для конкретного продуктивного слоя карбонатного массива)

Данные рисунка 4.25 свидетельствуют, что максимальный выход товарных блоков обеспечивается при пересечении щелей с основной системой трещин под углами $\sim 90^\circ$ [77].

На выбор модели гидравлического экскаватора при разборке подготовленного при помощи баровых пропилов продуктивного слоя значительное влияние оказывают расстояния между щелями, которые также определяют геометрические размеры (объемы) извлекаемых из массива блоков.

Площади и объемы технологических блоков определяют вырывное усилие гидравлического экскаватора и его производительность. Тип и модель гидравлического экскаватора и соответствующие капитальные и эксплуатационные затраты зависят от площади и прочности межслоевых контактов, а также от объема извлекаемых блоков. Те же показатели для баровой установки определяются прочностью пород, слагающих продуктивный слой, и частотой расположения щелевых выработок.

С одной стороны, уменьшение расстояния между баровыми выработками позволяет использовать менее мощную модель экскаватора и соответственно снизить эксплуатационные затраты на экскаваторную разборку. С другой – уменьшение расстояния между щелями приводит к увеличению объема работ баровой установки и влечет за собой снижения среднего объема товарного блока. Блок меньшего объема имеет более низкую покупательскую способность на рынке и тем самым имеет более низкую стоимость. В связи с вышесказанным возможно определить оптимальное расстояния между щелевыми (баровыми) выработками исходя из основных экономических критериев: чистого дисконтированного дохода (NPV) и дисконтированного срока окупаемости инвестиций (DPP) [74].

Чистый денежный поток определяется по выражению:

$$CF_n = D_{\text{блп}} - Z_{\text{эксн}} - Z_{\text{барп}} - Z_{\text{нрп}} - I_n (\mathcal{E} + B) + A_n (\mathcal{E} + B), \text{ руб/год}, \quad (4.25)$$

где $D_{\text{блп}}$ – доход от продажи блоков, добытых на участке с безвзрывной технологией, который вычисляется по формуле:

$$D_{\text{блп}} = Q_{\text{учбл}} \cdot C_{\text{бл}}, \text{ руб/год}, \quad (4.26)$$

где $Q_{\text{учбл}}$ – производительность участка по добыче блоков безвзрывным способом, $\text{м}^3/\text{год}$;

$C_{\text{бл}}$ – рыночная цена блоков известняка, $\text{руб}/\text{м}^3$;

$Z_{\text{экс}}$ – эксплуатационные затраты на гидравлический экскаватор можно найти из следующего выражения:

$$Z_{\text{экс}} = Q_{\text{учбл}} \cdot \frac{Z_{\text{экс}}}{Q_{\text{экс}}}, \text{ руб/год}, \quad (4.27)$$

где $Z_{\text{экс}}$ – эксплуатационные затраты на 1 час работы гидравлического экскаватора, руб/час;

$Q_{\text{экс}}$ – эффективная часовая производительность гидравлического экскаватора по разборке продуктивного слоя на блочный камень, м³/час;

$Z_{\text{барп}}$ – эксплуатационные затраты на баровую установку, определяется по выражению:

$$Z_{\text{барп}} = Z_{\text{бар}} \cdot S_{\text{бар}}, \text{ руб/год}, \quad (4.28)$$

где $Z_{\text{бар}}$ – эксплуатационные затраты на 1 кв.м пропила баровой установкой, руб/кв.м;

$S_{\text{бар}}$ – площадь стенок баровых щелей, м²/год:

$$S_{\text{бар}} = N \cdot S_{\text{б}} = \frac{V_{\text{пс}}}{V_{\text{бз}}} \cdot S_{\text{б}} = \frac{h \cdot L_{\text{ф}} \cdot v_{\text{ф}}}{h \cdot L_{\text{ф}} \cdot l} \cdot h \cdot L_{\text{ф}} = \frac{V_{\text{пс}}}{l} = \frac{Q_{\text{учбл}}}{b \cdot l}, \quad (4.29)$$

где N – количество баровых борозд в продуктивном слое, шт.;

$S_{\text{б}}$ – площадь стенки одной баровой щели, м²;

$V_{\text{пс}}$ – объем продуктивного слоя, м³/год;

$V_{\text{бз}}$ – объем одной баровой заходки, м³;

h – мощность продуктивного слоя, м;

$L_{\text{ф}}$ – длина фронта работ (длина баровой щели), м;

$v_{\text{ф}}$ – скорость подвигания фронта работ, м/год;

l – расстояние между баровыми бороздами, м;

b – коэффициент выхода кондиционных блоков из продуктивного слоя.

Подставив выражение (4.29) в выражение (4.28) получим:

$$Z_{\text{барп}} = Q_{\text{учбл}} \cdot \frac{Z_{\text{бар}}}{b \cdot l}, \text{ руб/год}, \quad (4.30)$$

$Z_{\text{прп}}$ – прочие затраты, связанные с погрузкой, транспортированием, хранением блоков и т.п. ($Z_{\text{прп}} = \text{const}$), руб/год;

$I_n(\mathcal{E}+B)$ – инвестиции на гидравлический экскаватор и баровую установку (стоимость данного оборудования, с помощью которого реализуется процесс по выемке блочного камня на безвзрывном участке), руб/год;

$A_n(\mathcal{E}+B)$ – амортизация гидравлического экскаватора и баровой установки, руб/год.

Производительность экскаватора определяется объемом технологических блоков и может быть вычислена по выражению (4.23).

При подготовке продуктивного слоя баровыми щелями возможно определить зависимость изменения среднего объема технологических блоков от расстояния между ними (на базе геометризации трещин основной системы). Пересечения эндогенных трещин с линиями баровых пропилов формируют технологические блоки, площади и объемы которых возможно измерить. Степень изменения среднего объема технологических блоков ($K_{изм}$) от соотношения между расстояния между баровыми щелями (l) и расстояния трещин в продуктивном слое (a) для продуктивных пластов Песковской группы месторождений представлена на рисунке 4.26.

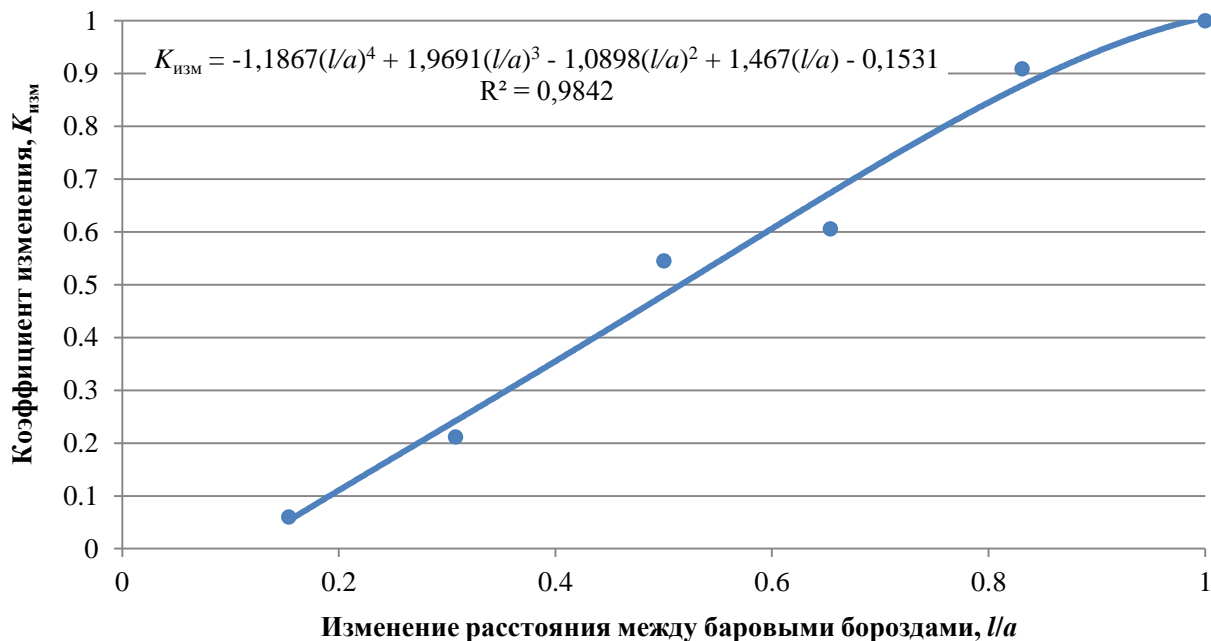


Рисунок 4.26 – Изменение среднего объема (или площади) геологических отдельностей в зависимости от расстояния между баровыми щелями для продуктивных пластов Песковской группы месторождений

Исходные данные для расчета удельных затрат на гидравлический экскаватор и баровую установку, сведены в таблицу 4.5 (результаты расчетов приведены в Приложении Б).

Таблица 4.5 – Исходные данные для расчета минимальных удельных затрат на добычу блоков известняка из продуктивного слоя

Наименование показателя	Ед. изм.	Значения
Мощность продуктивного слоя h	м	0,4-0,6
Средняя площадь геологических отдельностей в продуктивном слое, S_{cp}	м ²	2,5-3,0
Коэффициент выхода блоков из продуктивного пласта	–	0,29
Коэффициент снижения необходимого вырывного усилия при подготовке слоя баровыми щелями	–	0,8-0,9
Эффективная часовая производительность по кондиционным блокам гидравлического экскаватора из продуктивного слоя $Q_{экс}$	м ³ /ч	$Q_{экс} = 24 \cdot \frac{V_{г.о.ср} \cdot K_{изм}}{T_{ц}}$ ($K_{изм}$, рисунок 4.26)
Время рабочего цикла экскаватора, $T_{ц}$	мин	3-5
Эксплуатационные затраты на 1 час работы гидравлического экскаватора, $З_{экс}$	руб/ч	$З_{б.экс} = 781,86e^{0,055P}$ (рисунок 4.22)
Эксплуатационные затраты на работу баровой установки, $З_{бар}$	руб/м ²	50-70

График изменения удельных затрат в зависимости от расстояний между баровыми щелями и силами сцепления межслоевых контактов представлен на рисунке 4.27.

Чистый дисконтированный денежный поток находится по формуле:

$$CF_{nt} = CF_n \cdot k_d, \text{ руб/год}, \quad (4.31)$$

где k_d – коэффициент дисконтирования.

Для определения оптимального расстояния между баровыми щелями может быть использован критерий – чистый дисконтированный денежный доход нарастающим итогом, который определяется по выражению:

$$NPV = \sum_{t=1}^T CF_{nt}, \text{ руб.}, \quad (4.32)$$

где T – период расчета, лет.

А также критерий – минимальный дисконтированный срок окупаемости инвестиций:

$$l/a_{\text{рац}}^{\text{DPP}} = DPP^{\min}(l/a), \quad (4.33)$$

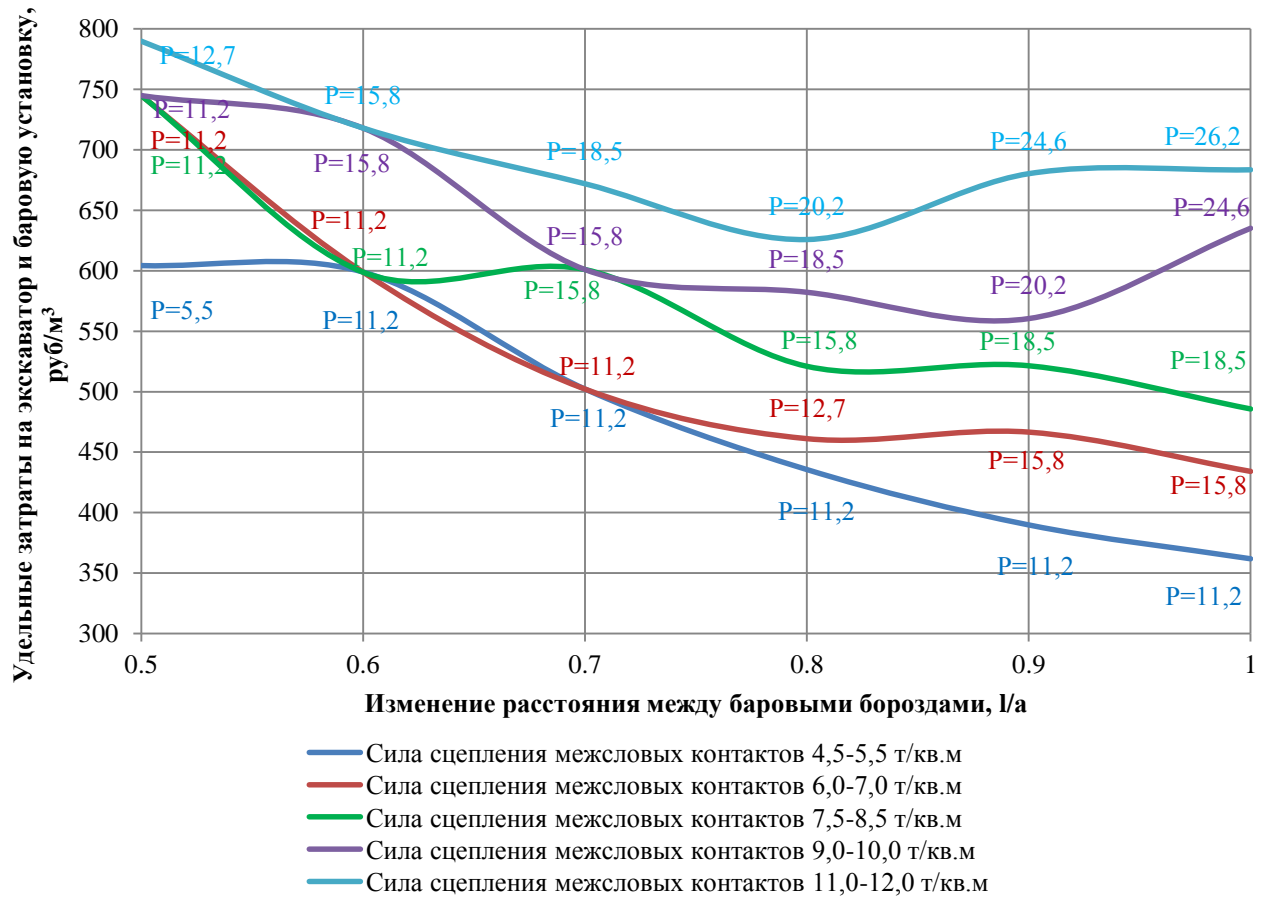


Рисунок 4.27 – График изменения удельных затрат на добычу 1 м³ кондиционных блоков из продуктивного пласта в зависимости от расстояний между баровыми щелями и силами сцепления межслоевых контактов (P – вырывные усилия гидравлического экскаватора)

Используя вышеприведенный подход, определены оптимальные расстояния между баровыми щелями для продуктивных слоев с различными силами сцепления межслоевых контактов. Исходные данные для расчета приведены в таблице 4.6 (результаты расчетов приведены в Приложении В).

Таблица 4.6 – Показатели, применяемые при расчете рационального расстояния между баровыми щелями при добыче блоков известняка из продуктивного слоя

Наименование показателя	Ед. изм.	Значения
Производительность участка по добыче блоков известняка, $Q_{\text{учбл}}$	м³/год	3000

Наименование показателя	Ед. изм.	Значения
Рыночная цена при продаже добытых (карьерных) блоков, $C_{\text{бл}}$	руб/м ³	3200 (при объеме блока >1,0 м ³) 3000 (при объеме блока <1,0 м ³)
Период расчета, Т	лет	15
Коэффициент дисконтирования	k_d	1–0,18 (каждый год понижается на 0,11)
Прочие затраты (погрузка, транспортирование, хранение блоков и т.п.), $Z_{\text{пр}}$	руб/м ³	1600
Инвестиции на баровую установку, I(Б)	млн руб	2,5
Инвестиции на гидравлический экскаватор, I(Э)	млн руб	Зависит от модели экскаватора и определяется из рисунка 4.22
Срок амортизационных отчислений на экскаватор,	лет	7
Срок амортизационных отчислений на баровую установку	лет	7
Удельные затраты на экскаватор и баровую установку	руб/м ³	См. приложение А

На базе критериев NPV и DPP построены кривые (рис. 4.28, 4.29), позволяющие определить оптимальные расстояния между баровыми щелями.

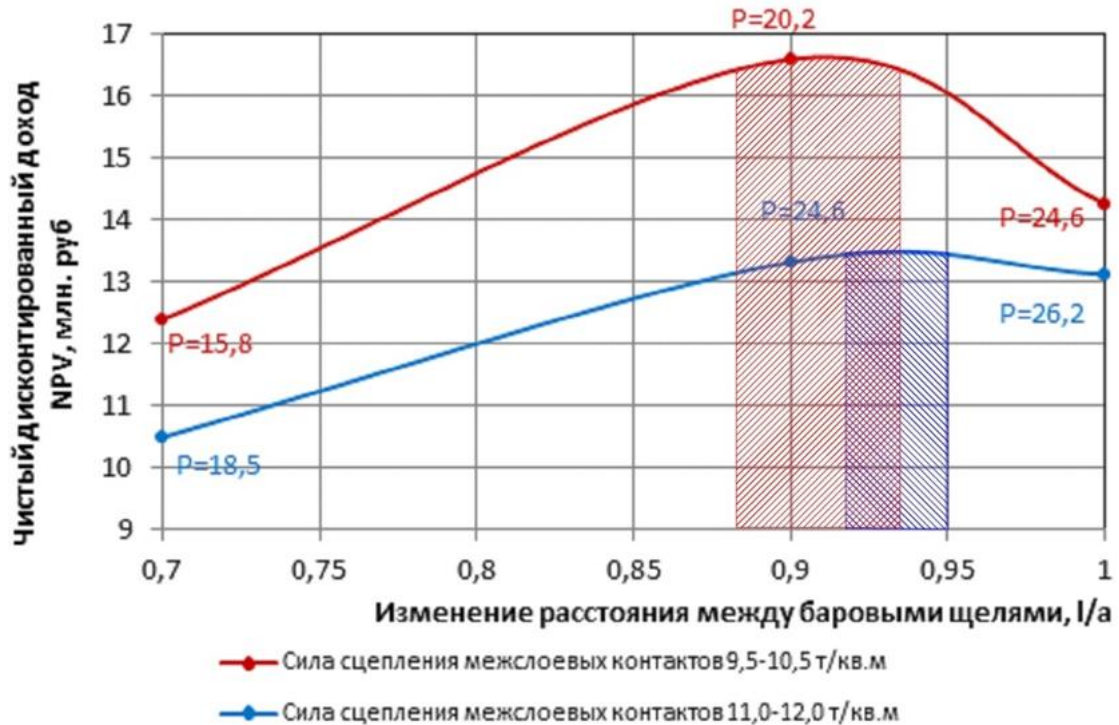


Рисунок 4.28 – Определение оптимального расстояния между баровыми щелями при различных силах сцепления межслоевых контактов (получено на базе анализа чистых дисконтированных денежных потоков): P – вырывные усилия гидравлического экскаватора

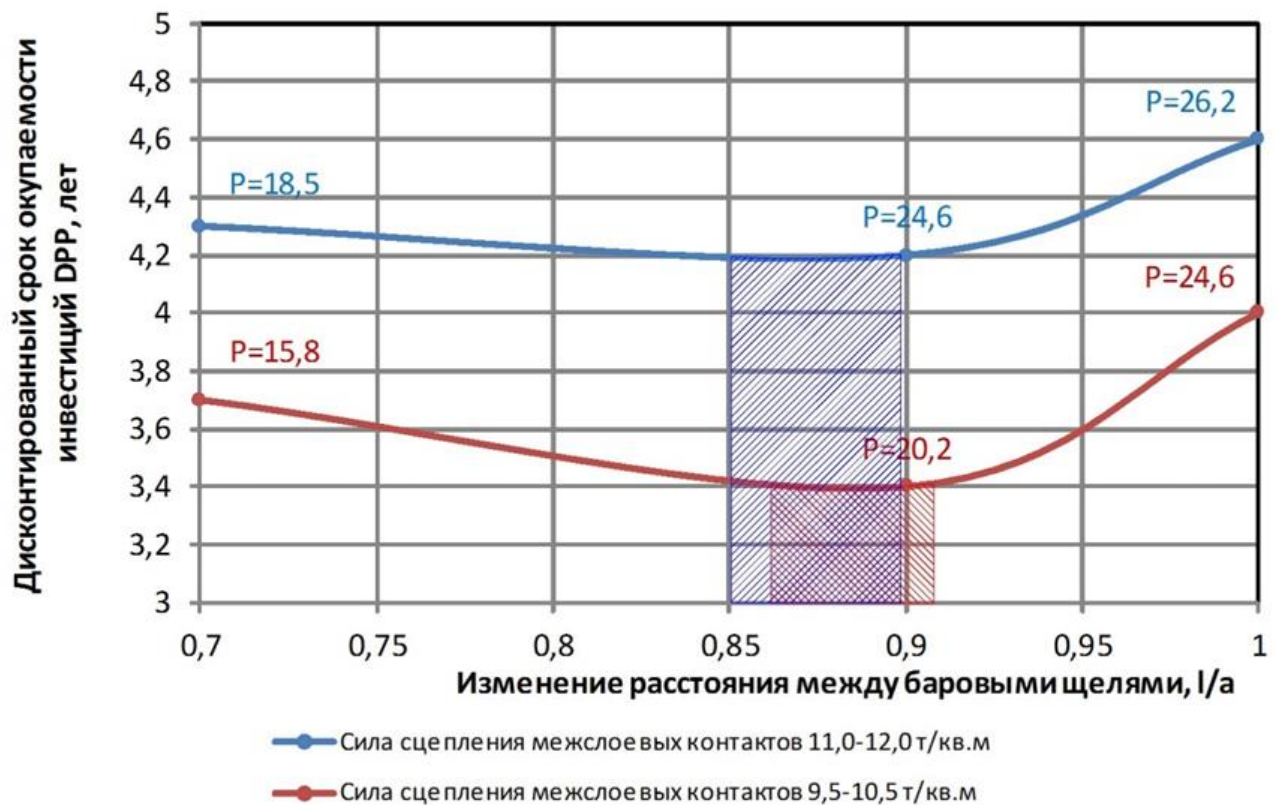


Рисунок 4.29 – Определение оптимального расстояния между баровыми щелями при различных силах сцепления межслоевых контактов (получено на базе анализа дисконтированного срока окупаемости инвестиций): P – вырывные усилия гидравлического экскаватора

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что оптимальное расстояние между баровыми щелями (l) находится в пределах 0,85–0,95 от среднего расстояния между природными трещинами в продуктивных слоях (а) карбонатных месторождений Русской платформы:

$$l = (0,85 - 0,95) \cdot a, \text{ м.} \quad (4.34)$$

Обработка статистических данных (на Афанасьевском, Добрятинском, Касимовском, Домодедовском, Баишевском месторождениях) свидетельствует, что среднее расстояние между природными трещинами в продуктивных слоях на карбонатных месторождения Русской платформы изменяется от 1,8 до 2,2 м. В этом случае оптимальное расстояние между баровыми щелями будет 1,6–2,0 м.

4.5. Область использования баровых установок для ослабления межслоевых контактов карбонатного массива

Область использования баровых установок может быть определена на базе ранее использованного экономического критерия: дисконтированного срока окупаемости инвестиций (DPP). При сравнении сроков окупаемости представленных двух технологий (с баровой установкой и без нее) может быть три случая. Первый, когда срок окупаемости технологии с гидравлическим экскаватором меньше срока окупаемости технологии с применением баровой установки:

$$DPP_{\text{экс}}(P) < DPP_{\text{экс+бар}}(P) \quad (4.35)$$

Второй случай, когда:

$$DPP_{\text{экс}}(P) > DPP_{\text{экс+бар}}(P) \quad (4.36)$$

Третий случай – сроки окупаемости равны:

$$DPP_{\text{экс}}(P) = DPP_{\text{экс+бар}}(P) \quad (4.37)$$

Величина силы сцепления межслоевых контактов, при которой сроки окупаемости двух технологий равны, является границей перехода к использованию баровой установки.

Для определения срока окупаемости инвестиций рассчитываются чистые денежные потоки. При технологии без баровой установки:

$$CF_{\text{экс}} = D_{\text{блп}} - Z_{\text{экс}} - Z_{\text{прп}} - I_n(\text{Э}) + A_n(\text{Э}), \text{ руб./год}, \quad (4.38)$$

где $D_{\text{блп}}$ – доход от продажи блоков, добытых на участке с безвзрывной технологией, руб./год;

$Z_{\text{экс}}$ – эксплуатационные затраты на гидравлический экскаватор, руб./год;

$Z_{\text{прп}}$ – прочие затраты, связанные с погрузкой, транспортированием, хранением блоков и т.п. ($Z_{\text{прп}} = \text{const}$), руб./год;

$I_n(\text{Э})$ – инвестиции на гидравлический экскаватор, руб./год;

$A_n(\text{Э})$ – амортизация гидравлического экскаватора, руб./год.

Для технологии с применением баровой установки чистый денежный поток определяется по выражению (4.25).

Используя вышеприведенные выражения (4.38, 4.25), определены сроки окупаемости технологий в зависимости от различных величин сил сцепления

межслоевых контактов продуктивного слоя карбонатного массива. Исходные данные для расчета приведены в таблице 4.6 (результаты расчетов приведены в Приложении Г).

На базе критерия $DPP(P)$ выполнено построение кривые для определения области использования баровой установки для ослабления продуктивного слоя перед его разборкой (рис. 4.30).

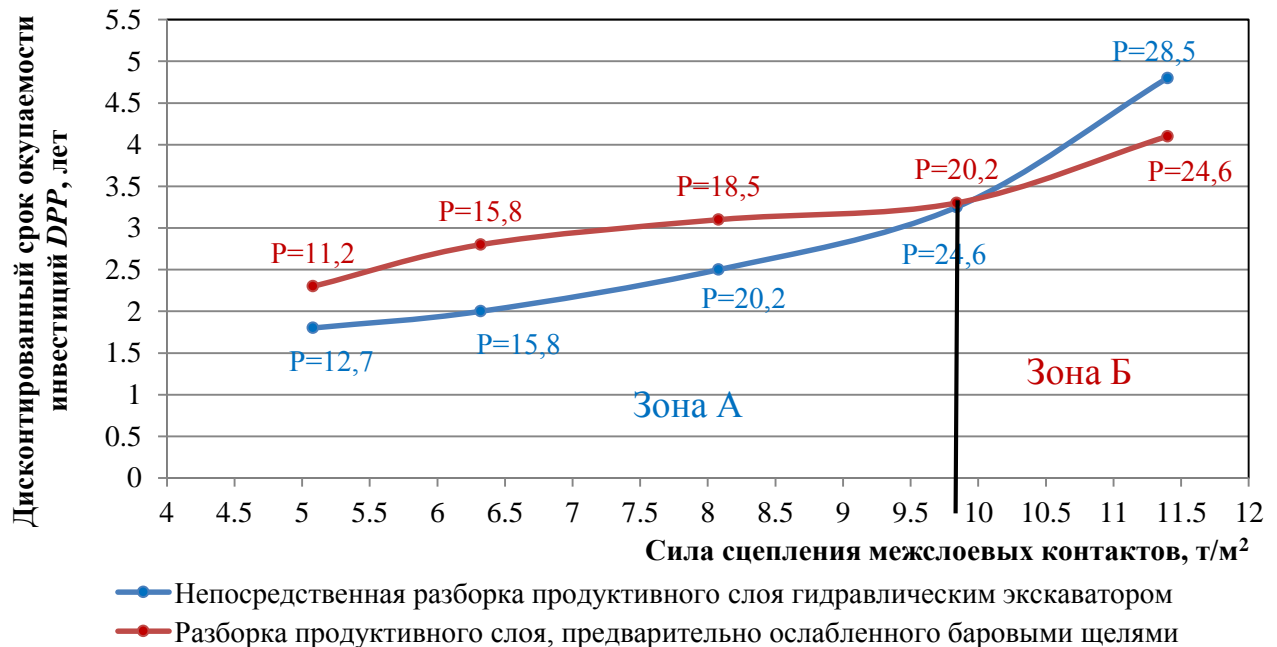


Рисунок 4.30 – Определение области использования технологий с непосредственной разборкой гидравлическим экскаватором (Зона А) и с предварительным ослаблением продуктивного слоя баровыми щелями (Зона Б) при различных силах сцепления межслоевых контактов (получено на базе анализа дисконтированного срока окупаемости инвестиций), P – вырывные усилия гидравлического экскаватора

Анализ данных рисунка 4.30 позволяет сделать вывод о том, что границей перехода от одной технологии к другой является величина силы сцепления межслоевых контактов равная 9,5–10,0 т/м² (при вырывных усилиях экскаватора 24–26 т). Разборка продуктивных слоев гидравлическими экскаваторами экономически целесообразна для зоны с вырывными усилиях экскаватора до 24–26 т. Продуктивные слои с вырывным усилием более 24–26 т целесообразно разбирать с использованием предварительного ослабления баровыми щелями.

Выводы по главе 4

1. Отрыв геологических отдельностей от массива происходит по плоскостям слоистости и природным эндогенным трещинам путем цикличного приложения вырывного усилия снизу вверх, чему в наибольшей степени соответствует кинематика движения рабочих органов гидравлических экскаваторов.

2. Основными факторами, влияющим на величину вырывного усилия, являются силы сцепления вынимаемого блока с межслоевыми контактами и распорные усилия, возникающие вдоль природных трещин, оконтуривающих геологическую отдельность.

3. Прочность межслоевых контактов может иметь значительные колебания в пределах локальных зон карбонатного массива, что оказывает влияние на порядок отработки продуктивных слоев известняка.

4. При показателях прочности межслоевых контактов превышающих 9,5–10,0 т/м², продуктивный выемочный слой целесообразно ослаблять баровыми выработками, направленными в крест простираения основной системы природных трещин массива с интервалом от 1,6 до 2,0 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата наук является квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения по безвзрывной добыче блоков известняка на карбонатных месторождениях Русской платформы, базирующейся на разборке природных разностных слоев массива по плоскостям слоистости и природным эндогенным трещинам, при которых обеспечивается максимальное сохранение природных свойств и геометрических параметров геологических отдельностей (блоков-монолитов) известняка, что дает возможность масштабного внедрения данной технологии в практику производства горных работ на карьерах Европейской части России.

Основные научные результаты и практические выводы, полученные в диссертационной работе, заключаются в следующем:

1. Карбонатные массивы Русской платформы имеют явно выраженную слоистость с интервалами от 2–5 до 120 см и интенсивно развитую систему вертикальных эндогенных трещин, что предопределяет доминирование в них некондиционных для целей камнеобработки геологических отдельностей известняка объемом до 1 м³. Доля кондиционных блоков с объемом более 1 м³ в продуктивных выемочных слоях известняков мячковского и подольского геологических горизонтов составляет ~32 %.

2. Частота эндогенных трещин карбонатных массивов Русской платформы, представленных известняками, зависит от мощности продуктивного слоя и определяется степенной функцией $N=f(M)=76,8e^{-4,1M}$ (где N – количество трещин на 10 м протяженности разностного слоя, а M – мощность слоя, м)

3. При отработке продуктивных слоев известняка происходит частичное нарушение кондиционных блоков, приводящее к уменьшению объема последних. Безвзрывная технология добычи блоков известняка, основанная на разборке массива по природным разностным слоям, позволяет на 20 % увеличить выход товарных блоков из массива по сравнению с технологиями, базирующимися на пилении карбонатных пород.

4. Специализированные карьеры по добыче блочного известняка могут быть созданы при условии, что их текущие коэффициенты вскрыши не превышают значений предельных коэффициентов вскрыши ($K_{пр}$). Характерные значения предельных

коэффициентов вскрыши для выемки блочных известняков укладываются в интервал от 6 до 8 м³/м³. При таких значениях $K_{пр}$ для большинства карбонатных месторождений Русской платформы (80–85 %) выемка блочных известняков может выполняться только «на принципах попутной выемки», когда в пределах рабочей зоны карьера, используемой для получения базовых типов минерального сырья, выделяется участок добычи блочного камня.

5. Минимизировать негативное воздействие взрывных работ на продуктивные слои блочных известняков возможно путем создания специальных буферных зон шириной в плане не менее 12 м, а по глубине не менее 5 м (при типичных для карбонатных массивов удельных расходах эталонного ВВ от 0,37 до 0,45 кг/м³).

6. Отрыв геологических отдельностей от массива происходит по плоскостям слоистости и природным эндогенным трещинам путем циклического приложения вырывного усилия снизу вверх, чему в наибольшей степени соответствует кинематика движения рабочих органов гидравлических экскаваторов. Основными факторами, влияющим на величину вырывного усилия, являются силы сцепления вынимаемого блока с межслоевыми контактами и распорные усилия, возникающие вдоль природных трещин, оконтуривающих геологическую отдельность.

7. Прочность межслоевых контактов может иметь значительные колебания в пределах локальных зон карбонатного массива, что оказывает влияние на порядок отработки продуктивных слоев известняка. При показателях прочности межслоевых контактов превышающих 9,5–10,0 т/м², продуктивный выемочный слой целесообразно ослаблять баровыми выработками, направленными в крест простирания основной системы природных трещин массива с интервалом от 1,6 до 2,0 м.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Звягинцев Л.И., Викторов А.М. Белый камень Подмосковья. – М.: Недра, 1989. – 118 с.
2. Воронин М.Н. Владимир, Боголюбово, Суздаль, Юрьев-Польский. – М.: Искусство, 1962. – 312 с.
3. Викторов А.М., Викторова Л.А. Природный камень в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1983. – 189 с.
4. Звягинцев Л.И. Деформации горных пород и эндогенное рудообразование. – М.: Наука, 1978. – 174 с.
5. Звягинцев Л.И., Викторов А.М. Подземная разработка белого камня // Строительство и архитектура. – 1983. – № 12. – С. 32–33.
6. Сперанский А.Н. Очерки истории приказа каменных дел Московского государства. – М.: РАНИОН, 1930. – 221 с.
7. Тихомиров Н.Я., Иванов В.Н. Московский Кремль. – М.: Стройиздат, 1967. – 259 с.
8. Ферсман А.Е. Очерки по истории камня. Том 2. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 371 с.
9. Казарян Ж.А. Природный камень (добыча, обработка, применение). Справочник. – М.: ГК Гранит: Петракомплект, 1998. – 252 с.
10. ГОСТ 9479-2011. Блоки из горных пород для производства облицовочных, архитектурно-строительных, мемориальных и других изделий. Технические условия (с Поправкой). – М.: Стандартиформ, 2012. – 11 с.
11. ГОСТ 30629-2011. Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2012. – 33 с.
12. ГОСТ 9480-2012. Плиты облицовочные из природного камня. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2013. – 11 с.
13. Левинсон-Лессинг Ф.Ю. Избранные труды в 4 томах. – Москва, Ленинград: Издательство академии наук СССР, 1949–1955.
14. Аллисон А., Палмер Д. Геология. Наука о вечно меняющейся Земле. – М.: Мир, 1984. – 568 с.
15. Штрубель Г., Циммер З.Х. Минералогический словарь. – М.: Недра, 1987. – 494 с.

16. Букринский В.А. Геометрия недр. – М.: Недра, 1985. – 526 с.
17. Беликов Б.П., Петров В.П. Облицовочный камень и его оценка. – М.: Наука, 1977. – 139 с.
18. Залесский Б.В., Степанов В.Я., Флоренский К.П. Опыт изучения физических свойств известняков мячковского горизонта (Песковская группа месторождений). АН СССР, Труды института геологических наук, вып. 123, Петрографическая серия (№ 37), 1950.
19. Ануфриев А.А. Белый камень Подмосковья. Сборник трудов 1-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения Храмов православной Руси». Московская Патриархия, Троице-Сергиева Лавра, 2000.
20. Берлин Ю.Я., Сычев Ю.И., Кипнис Л.Г. Материаловедение для камнеобработчиков. – Ленинград: Стройиздат, 1990. – 271 с.
21. Карло Музетти. Мрамор и характеристики, определяющие его эксплуатационные свойства. Симпозиум «Производство отделочных материалов из природного камня». – М., 1995.
22. Руппенейт К.В. Деформируемость массивов трещиноватых горных пород. – М.: Недра, 1975. – 223 с.
23. Барон Л.И., Логунцов Б.М., Позин Е.З. Определение свойств горных пород. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 332 с.
24. Голодковская Г.Д., Шаумян Л.В. К природе прочности массивов скальных горных пород // Вестник МГУ. Геология. – 1974. – № 1.
25. Синельников О.Б. Природный облицовочный камень. – М.: Издательство МГГУ, 2000. – 362 с.
26. Панюков П.Н. Инженерная геология. – М.: Недра, 1978. – 296 с.
27. Бротанек И., Вода Й. Контурное взрывание в горном деле и строительстве. – М.: Недра, 1983. – 144 с.
28. Шрейнер Л.А., Петрова О.П., Якушев В.П. Механические и абразивные свойства горных пород. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 201 с.
29. Muller L. Der Felsbau. 1. Teil. Stuttgart, Fer. Enke Verlag, 1963.
30. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Учебник для вузов. В 2-х частях. – М.: Недра, 1985.

31. Маттис А.Р., Кузнецов В.И., Васильев Е.И., Ташкинов А.С. и др. Экскаваторы с ковшом активного действия. – Новосибирск: Наука, 1996. – 174 с.
32. Штейнцайг В.М. Интенсификация открытых горных работ с применением мощных карьерных одноковшовых экскаваторов. – М.: Наука, 1990. – 140 с.
33. Штейнцайг Р.М. Методика определения параметров и показателей эффективности применения карьерных гидравлических экскаваторов. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1980. – 24 с.
34. Беляков Ю.И. Проектирование экскаваторных работ. – М.: Недра, 1983. – 349 с.
35. Ржевский В.В., Анистратов Ю.И., Ильин С.А. Открытые горные работы в сложных условиях. – М.: Недра, 1964. – 296 с.
36. Малышева Н.А., Томаков П.И., Дранников С.А. Разработка маломощных и сложных угольных пластов открытым способом. – М.: Недра, 1975. – 240 с.
37. Владимиров В.М., Шендеров А.И., Калашников Ю.Т., Хазанет Л.Л. и др. Карьерные роторные экскаваторы. – Киев: Техника, 1968. – 282 с.
38. Технично-эксплуатационные характеристики машин фирмы CATERPILLAR. Справочник. Пеория, Иллинойс, США, 1997.
39. Свердель И.С., Сандригайло Н.Ф. Справочник механика карьера. – М.: Недра, 1972. – 584 с.
40. Ефимов В.Н., Цветков В.Н., Садовников Е.М. Карьерные экскаваторы. Справочник рабочего. – М.: Недра, 1994. – 381 с.
41. Типовые технологические схемы ведения горных работ оборудованием непрерывного действия на угольных разрезах. – Киев: Техника, 1990. – 190 с.
42. Инструкция по расчету нормативно-эксплуатационной производительности экскаваторов и комплексов машин непрерывного действия. – Киев, УкрНИИпроект, 1980. – 181 с.
43. Чирков А.С. Добыча и переработка строительных горных пород. – М.: Издательство МГГУ, 2001. – 623 с.
44. Картавый Н.Г., Сычев Ю.И., Волуев И.В. Оборудование для производства облицовочных материалов из природного камня. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
45. Орлов А.М. Добыча и обработка природного камня. – М.: Стройиздат, 1977. – 350 с.

46. Косолапов А.И. Технология добычи облицовочного камня. – Красноярск: Издательство Красноярского университета, 1990. – 187 с.
47. Карасев Ю.Г., Бакка Н.Т. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный институт им. Г.В. Плеханова, 1997. – 428 с.
48. Природный камень: решения и перспективы // Горный журнал. – 2001. – № 3.
49. Трубецкой К.Н., Потапов М.Г., Веницкий К.Е., и др. Справочник. Открытые горные работы. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.
50. Шлаин И.Б. Разработка месторождений нерудного сырья. – М.: Недра, 1985. – 344 с.
51. Буянов Ю.Д., Краснопольский А.А. Разработка месторождений нерудных полезных ископаемых. – М.: Недра, 1973. – 389 с.
52. Отчет. Экспериментальные исследования работы комбайна «Wirtgen SM-3000» на разрезе «Каражыра». – М.: МГГУ, 1994.
53. Отчет. Выполнить технические обоснования и разработать предложения по использованию тяжелых проходческих комбайнов и специального оборудования отечественного и зарубежного производства для отработки доломитов и известняков Афанасьевского карьера. – М.: МГГУ, 1994.
54. Отчет. Провести стендовые испытания карбонатных пород Афанасьевского карьера на резание резцами РСК-2 и определить степень загрузки привода КП-3. – М.: МГГУ, 1994.
55. Отчет. Провести испытания новой безвзрывной технологии разработки карбонатных пород Афанасьевского месторождения на базе комбайна КП-3 специального изготовления. – М.: МГГУ, 1995.
56. Schwanenberg J. Ordnung, Merkmale und Anwendungsbereiche der Verfahren zum gebirgsschonenden Sprengen. NH 33, 1967.
57. Панкевич Ю.Б., Хартманн Г. Технологические схемы ведения горных работ при использовании комбайнов Wirtgen Surface Miner // Горный журнал. – 1995. – № 6. – С. 30–33.
58. Дзюба В.М., Панкевич Ю.Б. Результаты испытаний карьерного комбайна Wirtgen 2600 SM на магнезитовых месторождениях России // Горный журнал. – 1995. – № 6. – С. 34–36.

59. Супрун В.И., Панкевич Ю.Б. Исследование эксплуатационных параметров работы комбайна Wirtgen 3000 SM на разрезе «Каражыра» // Горный журнал. – 1995. – № 6. – С. 37.
60. Сафронов В.П. Технология и комплексы оборудования выемки природных естественных отдельностей (блоков) из массива карбонатных пород. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Тула, 2002. – 344 с.
61. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли. /РАН, АГН, РАЕН, МИА; под ред. К.Н. Трубецкого – М., АГН, 1997.
62. Стромоногов А.В., Супрун Е.В. Использование природного камня в храмостроительстве // Православный экономический вестник Приход. – 2003. – №4 и №5.
63. Бульбашев А.П., Билюкин А.Б., Супрун В.И., Трубчанин В.В., и др. Безвзрывная селективная выемка сложноструктурных залежей // Горный журнал. – 1996. – № 11–12. – С. 70.
64. Анистратов Ю.И. Эффективность безвзрывных технологий разработки крепких горных пород на карьерах // Горная промышленность. – 1997. – № 2. – С. 20.
65. Звягинцев Л.И., Супрун В.И., Кулин Н.М., Стромоногов А.В. и др. Технология добычи блоков известняка // Камень и бизнес. – 2001. – № 1. – С. 7.
66. Сычев Ю., Волков А., Ксенофонов С. и др. Природокаменные ресурсы России. – М.: Издательский дом «Полет-КМ», 2004. – 318 с.
67. Стромоногов А.В., Супрун Е.В. Требования к качеству белого камня для реставрационных работ // Камень и бизнес. – 2003. – № 2. – С. 12.
68. Стромоногов А.В., Супрун Е.В. Реставрация и воссоздание каменных памятников древней Руси // Империя камня. – 2005. – Июнь. – С. 64.
69. Репин Н.Я., Репин Л.Н. Процессы открытых горных работ. – М.: Горная книга, 2015. – 518 с.
70. Супрун В.И., Стромоногов А.В. Трещиноватость и блочность карбонатных массивов Русской платформы // Горный журнал. – 2008. – № 1. – С. 17–18.
71. Стромоногов А.В., Супрун В.И., Агафонов Ю.Г. Технология добычи блочного камня на сложноструктурных карбонатных месторождениях // Горные науки и технологии. – 2016. – № 2. – С. 3–13.
72. Супрун В.И. Белый камень: Учебное пособие. – М.: Издательство МГГУ, издательство «Горная книга», 2010. – 153 с.

73. Супрун В.И., Артемьев В.Б., Опанасенко П.И., Левченко Я.В., Стромоногов А.В. и др. Перспективная техника и технологии для производства открытых горных работ. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2017.
74. Пешкова М.Х. Экономическая оценка горных проектов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 422 с.
75. Синельников О.Б. Добыча природного облицовочного камня. – М.: Издательство РАСХН, 2005.-245 с.
76. Ялтанец И.М., Пастихин Д.В., Исаева Н.И. Открытые горные работы при строительстве: Учебное пособие для вузов. — М.: Издательство «Горная книга», 2014. – 384 с.
77. Стромоногов А.В. Оптимизация безвзрывной технологии разборки карбонатных массивов Русской платформы на блочный камень // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2017. – № 9. – С. 185–190.
78. Стромоногов А.В. Технология безвзрывной отработки карбонатных массивов на блочный камень // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2017. – № 9. – С. 191–195.
79. Рубцов В.К. Действия взрыва на массив скальных горных пород и его фильтра-ционные свойства. Сб. Взрывное дело, 61/18. М.: Недра, 1966.
80. Ханукаев А.Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом. М.: Недра, 1974. 224 с.
81. Анистратов Ю.И. Технологические процессы открытых горных работ. – М., Недра, 1995. – 351 с.
82. Анощенко Н.Н. Геометрический анализ трещиноватости и блочности месторождений облицовочного камня. – М., МГИ, 1983. – 268 с.
83. Трубецкой К.Н. Развитие способов оценки и технологии применения механического рыхления на открытых горных работах /К.Н. Трубецкой/ Горные науки и промышленность: Сб. ст. /МГИ / Сост. П.И. Томаков, В.В. Истомин. – М., 1989. – С. 21–

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Технологические параметры стрелового фрезерного комбайна КГФ-80 (использован на опытно-экспериментальном участке по выемке блочного известняка на Афанасьевском карьере)

По инициативе главных специалистов Афанасьевского карьера (А.П. Бульбашев и Н.И. Кожанов) стреловой комбайн для отработки известняков стал использоваться на Афанасьевском месторождении (рисунок А.1, А.2). Машина изготовлена на Ясиноватском машиностроительном заводе по техническому заданию Афанасьевского карьера и МГГУ (главный конструктор В.Н. Данилов).



Рисунок А.1 – Внешний вид стрелового фрезерного комбайна КГФ-80 и рабочего забоя при отработке известняков мячковского горизонта на Афанасьевском месторождении

Прототипом машины стал тяжелый проходческий комбайн КП-3. При доработке машины было выполнено 70 конструктивных изменений. Наиболее крупными из них являются: узел перегрузки со скребкового конвейера на ленточный, узел разгрузки отбитого материала в автосамосвалы, изменение конструкции и длины рабочего органа (фрезы) машины, установка виброзащищенной кабины и вынос в нее всех основных элементов управления комбайна, подогрев масла в маслобаках машины для работы в зимний период. Технические характеристики комбайна КГФ-80 приведены в таблице А.1.

Таблица А.1 – Основные технические характеристики стрелового фрезерного комбайна КГФ-80

Показатели	Ед. изм.	Значение показателя
Крепость разрабатываемых пород	МПа	от 25 до 50
Максимальная высота обрабатываемого уступа	м	4,5
Ширина заходки	м	5,0–6,0
Мощность электродвигателя рабочего органа	кВт	150
Суммарная номинальная мощность всех электродвигателей	кВт	225
Габаритные размеры:		
– высота	м	4,8
– длина с разгрузочной стрелой	м	24,1
Высота разгрузки	м	5,0
Масса	т	65
Размеры фрезы	мм	685×1050
Число резцов на фрезе	шт.	36

Отработка выемочных слоев выполнялась в нескольких режимах:

- первый режим предусматривает использование горизонтальных выемочных слоев, отбиваемых фрезой комбайна с открытой поверхности (откоса) уступа внутрь массива (рисунок А.2 а);
- второй режим предполагает отбойку пород из контура массива к открытой поверхности уступа (рисунок А.2 б).

Предпочтение отдано варианту разрушения забоя горизонтальными выемочными слоями с отбойкой материала от открытой поверхности внутрь массива. Данный режим обеспечивает минимальный выход кусков фракции 125–250 мм и наименьший уровень вибрации комбайна в процессе выемки.

Комбайн работал по трем технологическим схемам:

- первая схема предусматривает непосредственную погрузку отбиваемого материала в средства транспорта (рисунок А.3);
- вторая предполагает укладку отбиваемого материала в штабель с последующей его погрузкой самим комбайном или колесным погрузчиком (рисунок А.4);
- третья схема работы комбайна предусматривает его работу совместно с полустационарным сортировочно-грохотильным агрегатом (рисунок А.5).

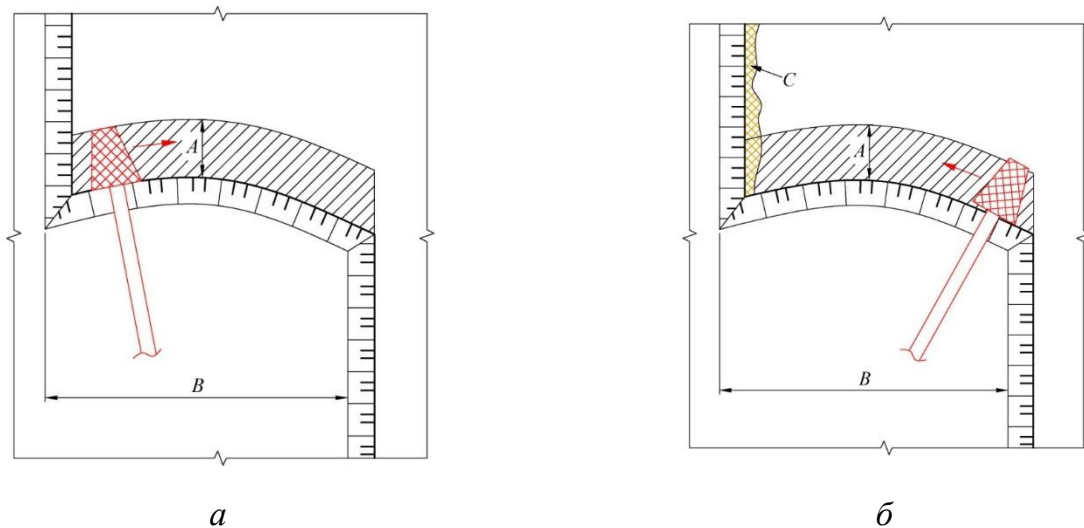


Рисунок А.2 – Схема, иллюстрирующая отработку выемочных слоев комбайном КГФ-80 на Афанасьевском карьере: *а* – врезка фрезы в выемочный слой от открытой поверхности (откоса) уступа; *б* – врезка фрезы в выемочный слой в зажатой среде с перемещением фрезы к откосу уступа; *A* – ширина выемочного слоя; *B* – ширина отрабатываемой заходки; *C* – зона в которой происходит вывал крупных кусков породы при приближении фрезы к откосу уступа; стрелкой показано направление отбойки пород из массива

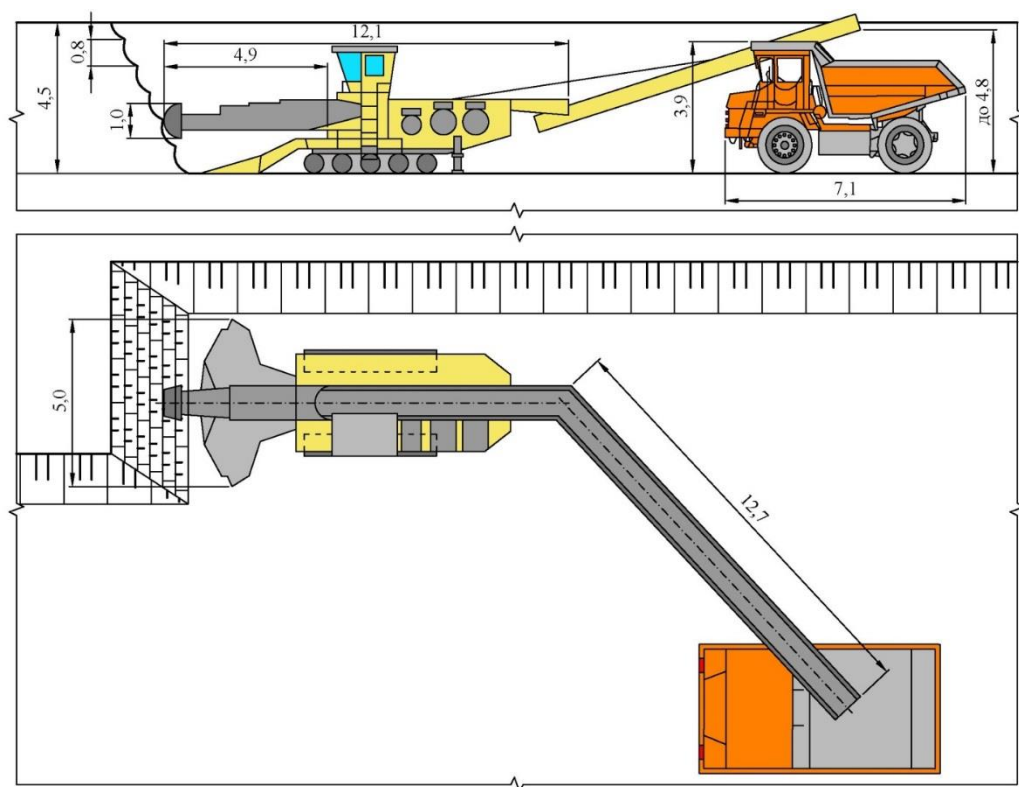


Рисунок А.3 – Технологическая схема отработки уступа комбайном КГФ-80 с погрузкой отбитой породы в средства транспорта

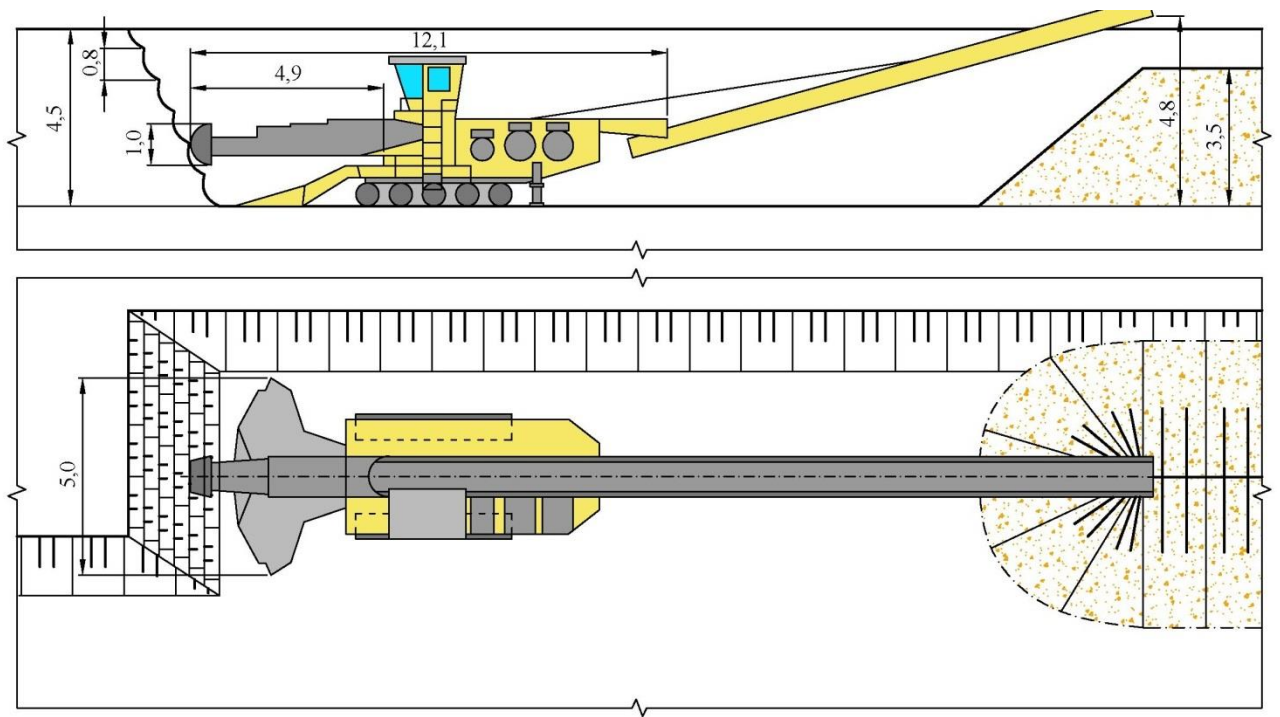


Рисунок А.4 – Технологическая схема отработки уступа комбайном КГФ-80 с укладкой отбитой породы в штабель

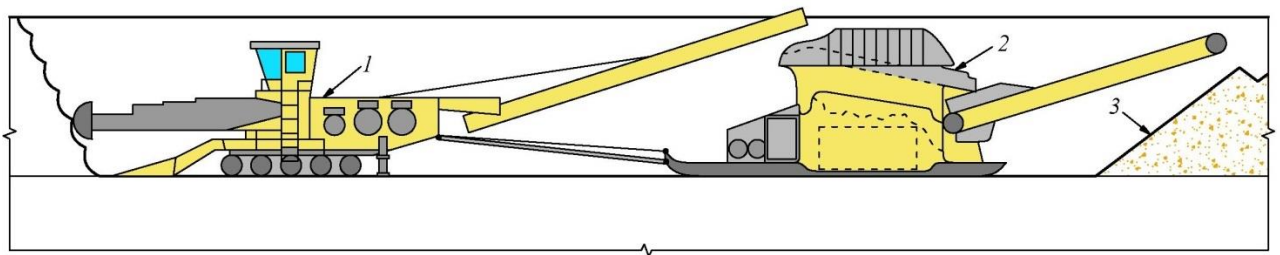


Рисунок А.5 – Принципиальная технологическая схема работы комплекса КГФ-80 (1) с передвижным сортировочно-грохотильным агрегатом (2): 3 – штабели фракционированного материала

При работе комбайна в штабель (без транспорта) его эксплуатационная производительность находилась на уровне 60–80 м³/ч. При отгрузке отбитого материала из штабеля рабочий орган комбайна не использовался. Производительность комбайна на отгрузке при этом составляла 100–120 м³/ч. Коэффициент технической готовности КГФ за три года эксплуатации составил 0,65.

В ходе испытаний комбайна производились замеры времени, затрачиваемого на отдельные операции технологического цикла. Результаты замеров приведены в таблице А.2. Анализ полученных данных свидетельствует, что наиболее

продолжительными являютсярезы по верхнему и нижнему слоям. Рез по средним слоям имеет продолжительность на 10–12 % ниже краевых. В этой связи, в процессе эксплуатации высота уступа, обрабатываемого комбайном, была увеличена с 3,0 м до максимальной 4,5 м, что позволило поднять производительность комбайна (за счет снижения удельного влияния краевых резов).

Таблица А.2 – Данные о времени выполнения технологических операций фрезерным комбайном КГФ-80 на опытно-промышленном участке Афанасьевского карьера

Наименование операций	Номера замеров														Среднее значение
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Характерный рез по верхнему слою, секунд	195	225	115	177	175	194	201	212	199	218	179	200	205	199	192
Характерный рез по нижнему слою с проработкой подошвы, секунд	200	220	210	199	210	215	202	207	206	221	202	207	199	211	208
Характерный рез по среднему слою, секунд	150	195	190	187	185	191	184	191	183	192	186	191	175	182	184
Додрабливание отбитого материала, секунд	84	180	185	163	186	180	87	180	182	178	180	163	171	164	163
Поворот стрелы (без додрабливания), секунд	12	10	12	12	13	12	11	20	11	11	13	12	14	12	13
Снятие с аутригеров, подъезд к забою после отработки всех выемочных слоев с фиксацией машины на аутригерах, секунд	55	45	55	85	60	56	51	54	57	53	55	52	53	55	56

Повышение высоты уступа позволило также уменьшить долевое участие технологических операций, связанных с перемещением комбайна в новое положение после отработки технологической полосы резания.

Опыт эксплуатации комбайна КГФ-80 свидетельствует о том, что карбонатные породы крепостью до 40 МПа эффективно разрушаются резцовым инструментом. На

первых этапах эксплуатации комбайна осуществлялась оптимизация режущего инструмента. Испытаниям подвергались резцы РКС-2 и PG-501-D-16. Стойкость резцов РКС-2 для пород Афанасьевского месторождения составляет 40–55 м³ на резец, а резцов PG-501-D-16 соответственно 140–210 м³.

По результатам эксплуатации машины КГФ-80 Ясиноватским машиностроительным заводом были выполнены конструкторские проработки по созданию специальной модели стрелового фрезерного комбайна для открытых горных работ производительностью 200 м³/ч (рисунок А.6). Машину предполагалось оснастить четырьмя модифицированными удлиненными фрезами, хорошо зарекомендовавшими себя при работе машины КГФ-80.

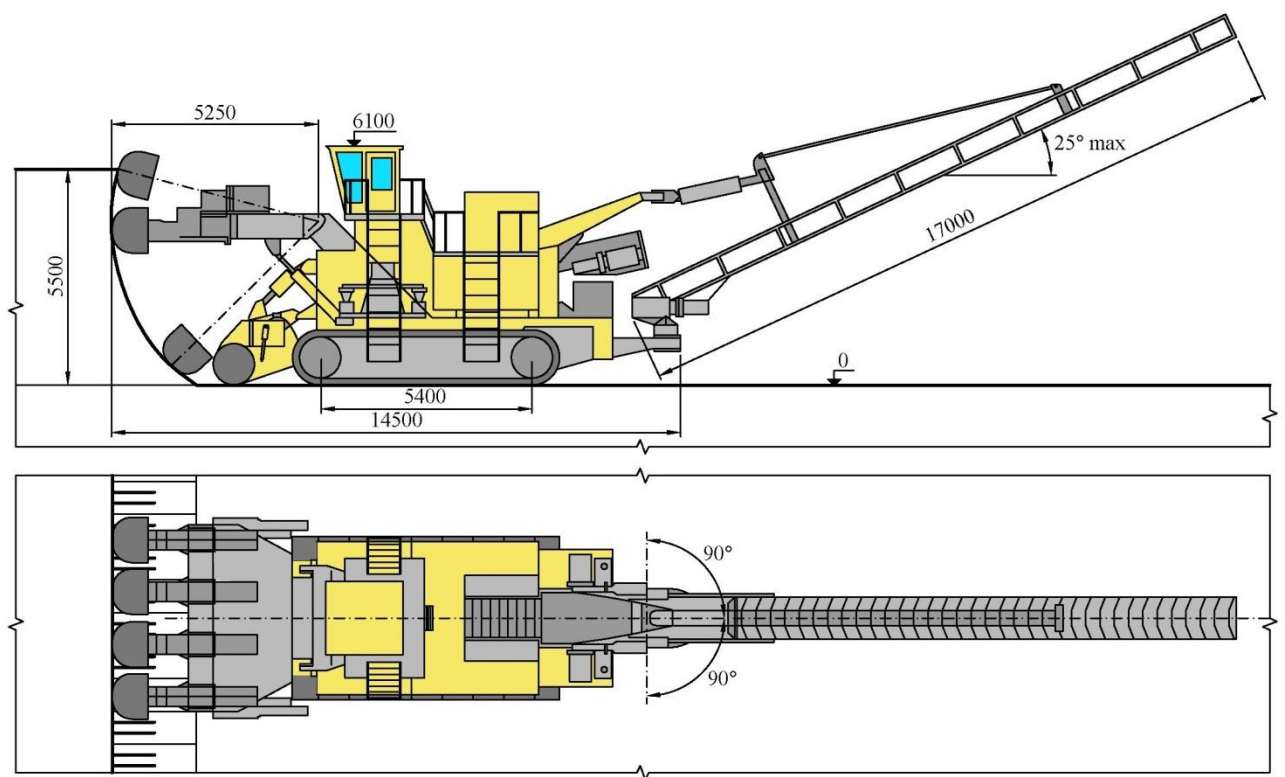


Рисунок А.6 – Принципиальная компоновочная схема фрезерного комбайна КГФ-200 производительностью 200 м³/ч для открытых горных работ

Приложение Б. Результаты расчетов удельных затрат гидравлического экскаватора и баровой установки в зависимости от различной степени сцепления межслоевых контактов продуктивного слоя и расстояния между баровыми щелями

Изменение расстояния между баровыми щелями	Коэффициент изменения средней площади блоков, добытых из продуктивного слоя в зависимости от расстояния между баровыми бороздами	Средняя площадь блоков, добытых из продуктивного слоя, м ²	Средний объем блоков, добытых из продуктивного слоя, м ³	Расстояние между баровыми щелями, м	Необходимое минимальное вырывное усилие экскаватора в зависимости от расстояния между баровыми щелями, т	Вырывное усилие экскаватора, т	Эксплуатационные затраты на экскаватор, руб/час	Эффективная часовая производительность экскаватора по добычи кондиционных блоков, м ³ /час	Удельные затраты на экскаватор, руб/м ³	Удельные затраты на баровую установку, руб/м ³	Удельные затраты на экскаватор и баровую установку, руб/м ³
l/a	$K_s=f(l/a)$	$S_{\text{бл}}$	$V_{\text{бл}}$	l	$P_{\text{слоя}}$	$P_{\text{экс}}$	$Z_{\text{эксч}}$	$Q_{\text{экс}}$	$Z_{\text{экс}}$	$Z_{\text{бар}}$	$Z_{\text{экс}}+Z_{\text{бар}}$
<i>Сила сцепления межслоевых контактов в продуктивном слое 4,5-5,5 т/м²</i>											
1	1,00	2,50	1,25	2,00	11,05	11,20	1881,01	7,50	250,80	111,11	361,91
0,9	0,94	2,35	1,18	1,80	10,40	11,20	1881,01	7,06	266,43	123,46	389,89
0,8	0,85	2,11	1,06	1,60	9,34	11,20	1881,01	6,34	296,76	138,89	435,65
0,7	0,73	1,83	0,91	1,40	8,07	11,20	1881,01	5,48	343,44	158,73	502,17
0,6	0,61	1,52	0,76	1,20	6,70	11,20	1881,01	4,55	413,66	185,19	598,84
0,5	0,48	1,20	0,60	1,00	5,30	5,50	1374,85	3,60	381,97	222,22	604,19
<i>Сила сцепления межслоевых контактов в продуктивном слое 6,0-7,0 т/м²</i>											
1	1,00	2,50	1,25	2,00	13,75	15,80	2422,46	7,50	322,99	111,11	434,11
0,9	0,94	2,35	1,18	1,80	12,94	15,80	2422,46	7,06	343,12	123,46	466,58
0,8	0,85	2,11	1,06	1,60	11,62	12,70	2042,76	6,34	322,28	138,89	461,17
0,7	0,73	1,83	0,91	1,40	10,04	11,20	1881,01	5,48	343,44	158,73	502,17
0,6	0,61	1,52	0,76	1,20	8,33	11,20	1881,01	4,55	413,66	185,19	598,84
0,5	0,48	1,20	0,60	1,00	6,60	11,20	1881,01	3,60	522,59	222,22	744,81

Сила сцепления межслоевых контактов в продуктивном слое 7,5-8,5 т/м ²											
1	1,00	2,50	1,25	2,00	17,57	185,00	2810,23	7,50	374,70	111,11	485,81
0,9	0,94	2,35	1,18	1,80	16,54	185,00	2810,23	7,06	398,05	123,46	521,50
0,8	0,85	2,11	1,06	1,60	14,85	158,00	2422,46	6,34	382,18	138,89	521,07
0,7	0,73	1,83	0,91	1,40	12,83	158,00	2422,46	5,48	442,29	158,73	601,02
0,6	0,61	1,52	0,76	1,20	10,66	112,00	1881,01	4,55	413,66	185,19	598,84
0,5	0,48	1,20	0,60	1,00	8,43	112,00	1881,01	3,60	522,59	222,22	744,81
Сила сцепления межслоевых контактов в продуктивном слое 9,0-10,0 т/м ²											
1	1,00	2,50	1,25	2,00	21,40	24,60	3930,37	7,50	524,05	111,11	635,16
0,9	0,94	2,35	1,18	1,80	20,15	20,20	3085,64	7,06	437,06	123,46	560,51
0,8	0,85	2,11	1,06	1,60	18,09	18,50	2810,23	6,34	443,36	138,89	582,25
0,7	0,73	1,83	0,91	1,40	15,63	15,80	2422,46	5,48	442,29	158,73	601,02
0,6	0,61	1,52	0,76	1,20	12,98	15,80	2422,46	4,55	532,73	185,19	717,91
0,5	0,48	1,20	0,60	1,00	10,27	11,20	1881,01	3,60	522,59	222,22	744,81
Сила сцепления межслоевых контактов в продуктивном слое 11,0-12,0 т/м ²											
1	1,00	2,50	1,25	2,00	24,80	26,20	4291,88	7,50	572,25	111,11	683,36
0,9	0,94	2,35	1,18	1,80	23,34	24,60	3930,37	7,06	556,70	123,46	680,16
0,8	0,85	2,11	1,06	1,60	20,96	20,20	3085,64	6,34	486,81	138,89	625,70
0,7	0,73	1,83	0,91	1,40	18,11	18,50	2810,23	5,48	513,09	158,73	671,82
0,6	0,61	1,52	0,76	1,20	15,03	15,80	2422,46	4,55	532,73	185,19	717,91
0,5	0,48	1,20	0,60	1,00	11,90	12,70	2042,76	3,60	567,53	222,22	789,75

Приложение В. Результаты расчетов по определению оптимального расстояния между баровыми щелями

Таблица В1 – Результаты расчетов по определению оптимального расстояния между баровыми щелями для продуктивного слоя с силой сцепления межслоевых контактов 9,5–10,5 т/м²

[illegible]

Расстояние между баровыми щелями $l/a = 1,00$

[illegible]

Расстояние между баровыми щелями $l/a = 0,90$

[illegible]

Расстояние между баровыми щелями $l/a = 0,70$

[illegible]

Таблица В2 – Результаты расчетов по определению рационального расстояния между баровыми щелями для продуктивного слоя с силой сцепления межслоевых контактов 11,0–12,0 т/м²

[illegible]

Расстояние между баровыми щелями $l/a = 1,00$

[illegible]

Расстояние между баровыми щелями $l/a = 0,90$

[illegible]

Расстояние между баровыми щелями $l/a = 0,70$

Доход от продажи блоков, млн. руб/год	0,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
Инвестиции на гидравлический экскаватор In(Э), млн руб	10,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Амортизация гидравлического экскаватора An(Э), млн руб/год	0,00	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Эксплуатационные затраты на гидравлический экскаватор, млн. руб/год	0,00	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
Эксплуатационные затраты на баровую установку, млн. руб/год	0,00	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Чистый денежный поток CFn, млн руб/год	-12,62	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18
Чистый дисконтированный денежный поток CFnt, млн руб/год	-12,62	3,55	3,19	2,83	2,55	2,27	2,03	1,79	0,87	0,79	0,70	0,63	0,57	0,50	0,44
Чистый дисконтированный денежный поток нарастающим итогом NPV, млн руб.	-12,62	-9,07	-5,88	-3,05	-0,50	1,77	3,81	5,60	6,47	7,26	7,96	8,59	9,16	9,66	10,10
Дисконтированный срок окупаемости инвестиций DPP, лет	4,30														

2,60	2,29	1,53	1,38	1,23	1,11	1,00	0,88	0,77	0,69
2,15	14,44	15,97	17,35	18,58	19,69	20,69	21,57	22,33	23,02
2,00									

[illegible]

[illegible]

Вырывные усилия, 28,5 т

[illegible]

[illegible]