

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)»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва 2017

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»)

- Научный руководитель: **Супрун Валерий Иванович**,
доктор технических наук, директор Проектно-экспертного центра НИТУ «МИСиС».
- Официальные оппоненты: **Першин Геннадий Дальтонович**,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (МГТУ им. Г.И. Носова), профессор кафедры «Горные машины и транспортно-технологические комплексы», г. Магнитогорск.
- Сафронов Виктор Петрович**,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (ТулГУ), профессор кафедры «Геотехнологии и строительство подземных сооружений», г. Тула.
- Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского» (ФГБУ «ВИМС»), г. Москва.

Защита диссертации состоится « » 2018 г. в час. мин. на заседании диссертационного совета Д 212.132.16 на базе НИТУ «МИСиС» по адресу: 119991 Москва, Ленинский пр., д. 6, стр. 2, ауд. А-305.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке НИТУ «МИСиС» и на сайте <http://misis.ru/science/dissertations/2017/3371/>.

Автореферат разослан « » 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, профессор



Вознесенский Александр Сергеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. 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 простирания 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, базирующейся 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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.

На карбонатных месторождениях ведущих стран по добыче блочного известняка (Италия, Франция, Германия, Испания, Турция, Россия (Крым)) доминируют технологии, основанные на выпиливании блоков из массива посредством алмазно-канатных пил или баровых установок.

Однако специфические горно-геологические особенности карбонатных массивов Русской платформой, заключающиеся в наличии развитой системы вертикальных эндогенных трещин и слоистости, не позволяют эффективно применять данные технологии для производства добычных работ.

В соответствии с поставленной целью 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.

Выбор горных технологий для извлечения блочных известняков предполагает необходимость достаточно полных знаний о природном массиве, в котором производятся работы. Основными характеристиками массива, доминирующими при таком выборе, являются его структура и качественные характеристики продуктивных слоев и вмещающих пород.

В карбонатных массивах Русской платформы существует несколько систем вертикальных трещин и слоистость. Слои известняков обычно разделяются прослойками мергелей и глин различной мощности. Мощность разностных слоев в карбонатных массивах Русской платформы невелика. Для известняков мячковского и подольского горизонтов она изменяется от нескольких сантиметров до 1,2 м.

Трещины в карбонатных массивах Русской платформы составляют сложные пространственные сети. Эти трещины носят название эндогенных. Такие трещины располагаются перпендикулярно к слоистости и образуют

несколько систем, предопределяющих в совокупности со слоистостью, разделение массива на геологические отдельности определенных размеров.

Для исследования блочности карбонатных массивов 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 слоя известняка мобильной баровой установкой производится серия параллельных баровых пропилов. Все выходы трещин на стенки баровых выработок фиксируются реперами. Соединение реперных точек друг с другом, позволяет получить контуры одной трещины по всей длине изучаемого блока и выявить основную систему трещин.

Большая часть (90 %) эндогенных трещин основной системы почти строго вертикальна (прямоколющие трещины). Средний размер геологической отдельности по длине баровой выработки определяется частотой трещин и может быть определен по выражению:

$$P = \frac{l_0}{n-1}, \text{ м}, \quad (1)$$

где l_0 – длина баровой выработки, м;

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

Для продуктивных слоев мячковских известняков размер геологической отдельности изменяется в плане от 0,1–0,2 до 2,0–3,0 м (среднее значение 1,0–1,2 м). Полученные в ходе экспериментальных работ данные свидетельствуют о снижении трещиноватости (интенсивности трещин N , шт/10 м) при увеличении мощности продуктивного слоя (M , м). Интенсивность данного снижения можно характеризовать выражением (2) и кривой, приведенной на рисунке 1:

$$N = 76,8e^{-4,1M}, \text{ шт/10 м}. \quad (2)$$

В процессе опытно-экспериментальных работ на карьерах Песковской, Касимовской и Добрятинской групп карбонатных месторождений производились замеры объемов и площадей геологических отдельностей. Статистическая обработка выполнена для 257 техногенных геологических обнажений (щелей), сформированных баровыми установками. Анализ полученных данных свидетельствует, что в продуктивных слоях доминируют геологические отдельности объемом до 1,0 м³ (рисунок 2).

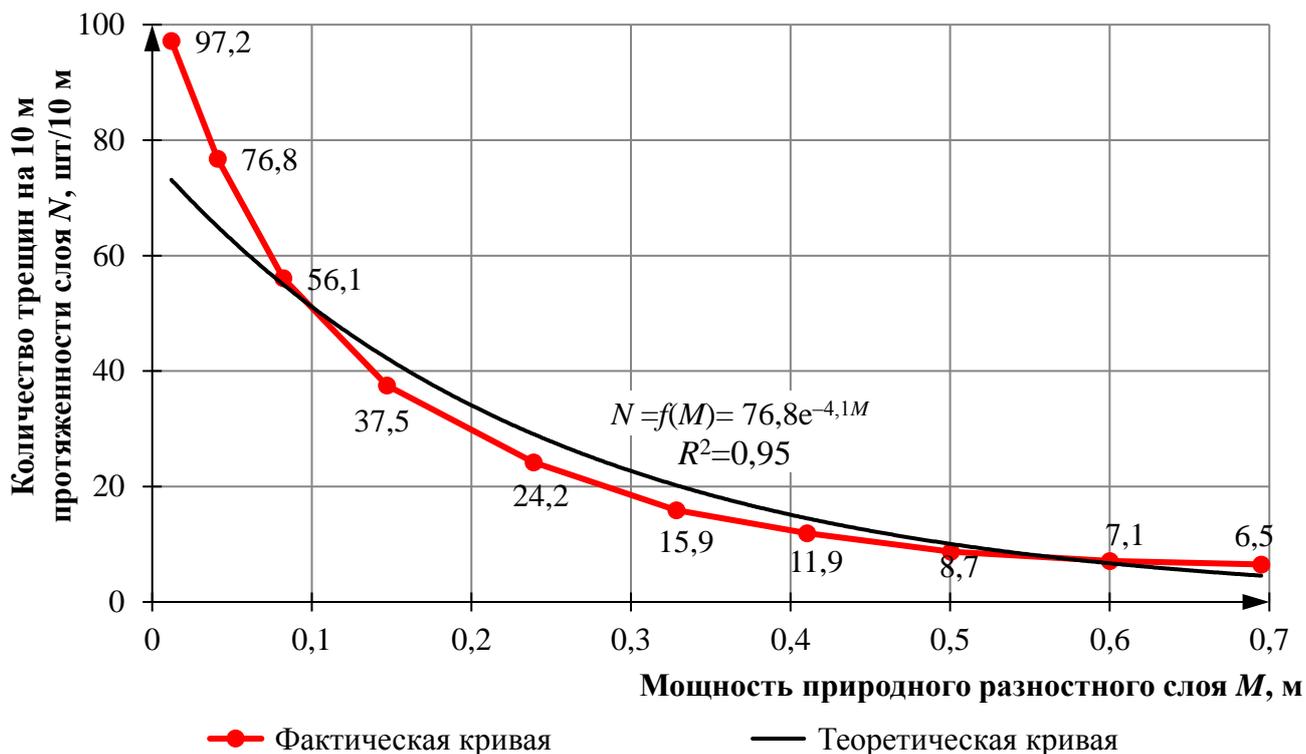


Рисунок 1 – Изменение числа эндогенных трещин на 10 м протяженности разностного слоя известняков в зависимости от мощности последнего

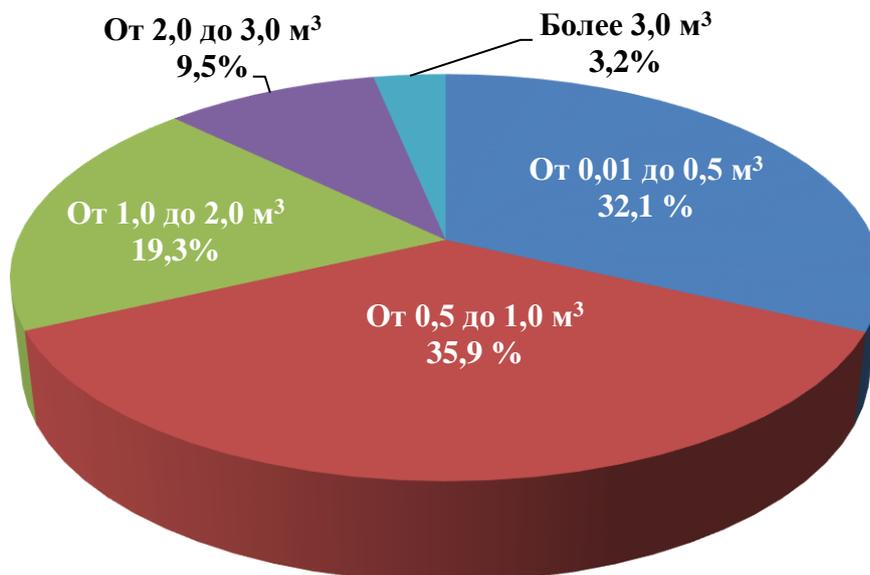


Рисунок 2 – Процентное соотношение объемов геологических отдельностей в продуктивных слоях Мячковских известняков Русской платформы (по данным замеров на карьерах Песковской, Касимовской и Добрятинской группы карбонатных месторождений). Обработка выполнена на 257 техногенных геологических обнажениях (щелях)

Эффективно можно использовать для целей камнеобработки блоки объемом более 1 м³. Таким образом, доля кондиционных блоков в разностных

продуктивных слоях мячковских известняков Русской платформы составляет ~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 3).

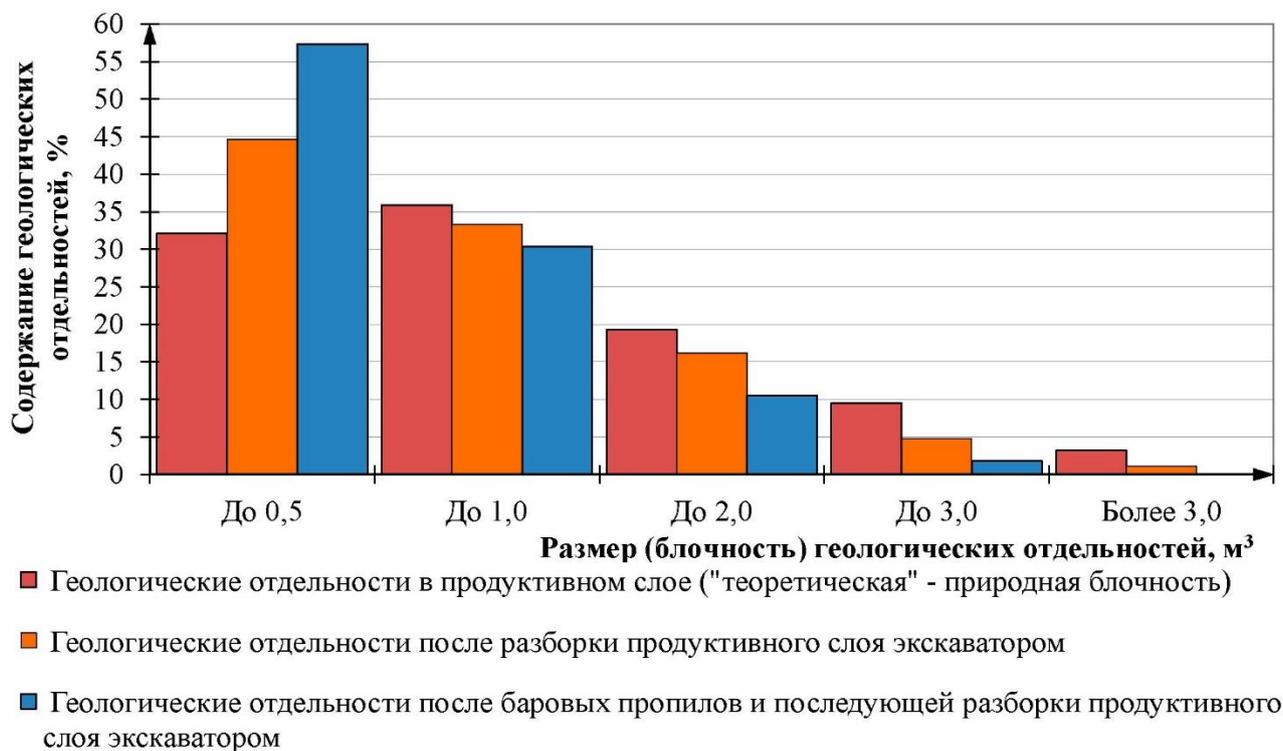


Рисунок 3 – Изменение фактической блочности материала, полученного при безвзрывной разработке массива, в сравнении с природной блочностью

На основе проведенных экспериментальных работ на семи карбонатных месторождениях 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 разборке продуктивного слоя экскаватором частичное разрушение природных монолитов (геологических отделиностей) происходит за счет слабых зон или дефектов самих отделиностей. При использовании технологий, основанных на пилении массива, размер фактического блока определяется не только природными трещинами, 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_{cp}):

$$W=1/V_{\text{cp}}. \quad (3)$$

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

Оценку эффективности создания самостоятельного (специализированного) карьера для разработки блочных известняков открытым способом предлагается определять на базе предельного коэффициента вскрыши ($K_{\text{пр}}$). Он рассчитывается по выражению:

$$K_{\text{пр}} = \frac{C_{\text{д}} - C_{\text{о}}}{C_{\text{в}}}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (4)$$

где $C_{\text{д}}$ – предельно допустимая себестоимость добычи 1 м^3 полезного ископаемого (товарного блока известняка), руб/ м^3 ;

$C_{\text{о}}$ – себестоимость добычи 1 м^3 товарного блока без учета затрат на производство вскрышных работ, руб/ м^3 ;

$C_{\text{в}}$ – затраты на выемку 1 м^3 вскрышных пород, руб/ м^3 .

Предельно допустимую себестоимость добычи 1 м^3 блока при проектировании карьеров принимают равной цене реализации 1 м^3 товарного блока известняка (Ц , руб/ м^3). При равенстве $C_{\text{д}} = \text{Ц}$, предприятие работает на уровне нулевой рентабельности. Предельный коэффициент вскрыши в данном случае будет определяться по выражению:

$$K_{\text{пр}} = \frac{\text{Ц} - C_{\text{о}}}{C_{\text{в}}}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (5)$$

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

$$K_{\text{пр}} = \frac{(m_p - C_p) \cdot p - \frac{C_m}{b} - C_{\text{тр}} + D}{C_{\text{в}}}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (6)$$

где m_p – рыночная цена готовой продукции из природного камня, руб/ м^3 ;

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 материала продуктивного слоя, руб/м³;

b – выход кондиционного блока из продуктивного слоя;

$C_{тр}$ – 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 (вмещающих) пород, руб/м³.

При характерных значениях параметров, входящих в выражение (6), значения $K_{пр}$ изменяются в интервалах от 6 до 8 м³/м³. Если расчетные (фактические) значения коэффициентов вскрыши выше величины $K_{пр}$, рассчитанной по выражению (6), блочный известняк может добываться только «на принципах попутной выемки», когда основная часть карбонатной толщи разрабатывается на другие виды минерального сырья, а добыча блочных известняков локализуется в отдельных высотных зонах эксплуатационного карьера.

Проведенный анализ геологических материалов и значений коэффициентов вскрыши (для выемки продуктивных слоев карбонатов) свидетельствует, что для большинства (80–85 %) месторождений Русской платформы выемка блочных известняков возможна только «на принципах попутной выемки».

При выборе местоположения участка по добыче блочного камня в контурах эксплуатируемых карьеров необходимо учитывать следующее обстоятельства:

– 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;

– участок по выемке блочного камня должен быть «экранирован» от действия взрывных работ.

В диссертационной работе рассмотрены следующие варианты размещения участка по добыче блочного камня в пределах основного карьера. Первый вариант предполагает размещение участка по выемке блочного камня во временно нерабочей зоне основного карьера. Второй – его интеграцию в рабочую зону основного карьера.

Комплексы оборудования и технологии выемки, используемые на участке по добыче блочного камня и при отработке основного карьера, обычно имеют существенные отличия. Исходя из условий залегания продуктивных слоев, можно выделить три типа массивов пригодных для разработки на блочный камень. Характеристика данных массивов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – 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 (I тип массивов). Технологическая схема их отработки практически не связана с производством взрывных работ. Здесь могут быть созданы самостоятельные участки по выемке блочных известняков.

Однако для большинства карбонатных месторождений Русской платформы продуктивные слои блочных известняков располагаются на средних и нижних гипсометрических уровнях карбонатной толщи (II и III тип массивов). Отличия II и III типа массивов заключается в мощности карбонатных пород, перекрывающих продуктивные слои блочных известняков.

II тип массива характеризуется небольшой мощностью скальных пород, перекрывающих продуктивные слои известняков. Использование безвзрывных технологий в верхней зоне массивов II типа обеспечивает защиту продуктивных слоев блочного известняка от взрывных нагрузок.

Для III типа массивов верхняя часть рабочей зоны карьера представлена, как правило, несколькими рабочими уступами. С целью защиты продуктивного слоя блочных известняков от взрывных работ (для II и III типов массивов) необходимо создавать специальные буферные зоны. Размеры буферных зон определяются с одной стороны параметрами взрывных работ, с другой – геологической структурой и прочностными характеристиками вмещающих пород.

Первый тип буферной зоны обеспечивает экранирование участка выемки блочного известняка в плане. По данным замеров трещин на плоскостях техногенных обнажений, сформированных методом выпиливания блоков, получена зависимость (7), и построена кривая изменения интенсивности

(суммарной длины L) взрывных трещин при удалении (в плане) зоны выемки известняка l от последнего ряда взрывных скважин (рисунок 4):

$$L = 8,45e^{-0,39l}, \text{ м.} \quad (7)$$

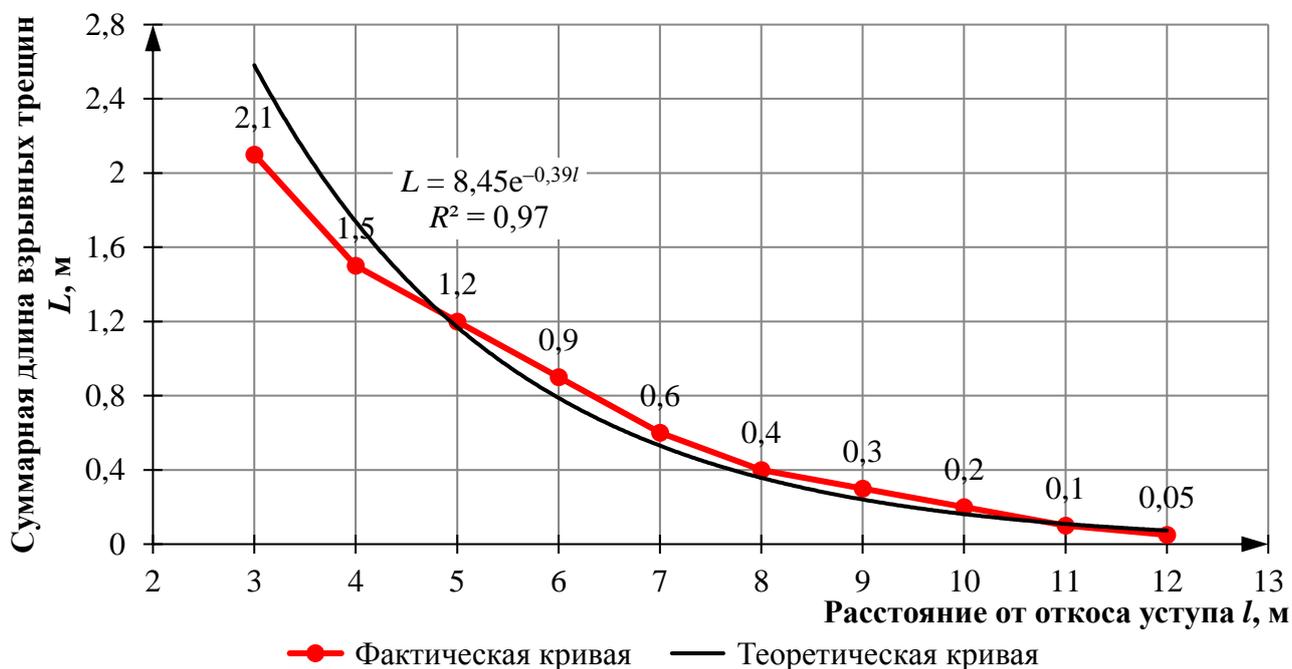


Рисунок 4 – Изменение интенсивности (суммарной длины) взрывных трещин при удалении от последнего ряда взрывных скважин

Полученные данные свидетельствуют, что зона нарушений продуктивных слоев известняка не превышает 12 м (при удельном расходе эталонного ВВ в зоне взрывного рыхления массива от 0,37 до 0,45 кг/м³). Таким образом, минимальный размер буферной зоны первого типа может приниматься в интервале от 12 до 15 м.

Вторая буферная зона должна экранировать продуктивный слой блочных известняков по глубине. Экспериментальные работы, выполненные на Скрипинском, Касимовском, Баишевском и Афанасьевском месторождениях свидетельствуют, что минимальный размер второй буферной зоны должен составлять не менее 5 м.

Создание буферных зон позволяет исключить негативное воздействие взрывных работ на массив и обеспечивает сохранение природной блочности карбонатных массивов.

Опыт разборки карбонатных массивов на геологические отдельности свидетельствует, что на эффективность данного процесса мало влияет механическая прочность самих отдельностей. Основными факторами здесь являются силы сцепления вынимаемого блока с нижележащим слоем и

распорные усилия, возникающие вдоль природных трещин, оконтуривающих геологическую отдельность (блок-монолит).

При разборке массива важным является обеспечение точного внедрения зубьев ковша в зону межслоевого контакта. Кинематические особенности гидравлических экскаваторов делают их наилучшим оборудованием для безвзрывной разборки массивов. Зубья ковша заглубляются в межслоевые контакты, затем поворотом ковша происходит отрыв геологической отдельности от массива (рисунок 5).



а

б

Рисунок 5 – Процесс экскаваторной разборки продуктивного слоя известняка: а) внедрение зубьев ковша экскаватора в межслоевой контакт; б) перемещение геологической отдельности

Процесс отделения геологической отдельности от продуктивного пласта реализуется, когда вырывное усилие превысит силы сопротивления, возникающие при ее отрыве (рисунок б). Это условие характеризуется следующим выражением:

$$P > Q_1 + Q_2 + Q_3, \text{ т}, \quad (8)$$

где Q_1 – сила сцепления вырываемой отдельности с нижележащим разностным слоем массива, т;

Q_2 – то же с торцевой зоной отделяемого блока, т;

Q_3 – то же с основной (наиболее длинной) частью вырываемого блока, т.

Если перед выемкой геологических отдельностей гидравлическим экскаватором производится подготовка продуктивного слоя при помощи баровых выработок, то появляется дополнительная свободная поверхность, а сила сопротивления Q_3 отсутствует.

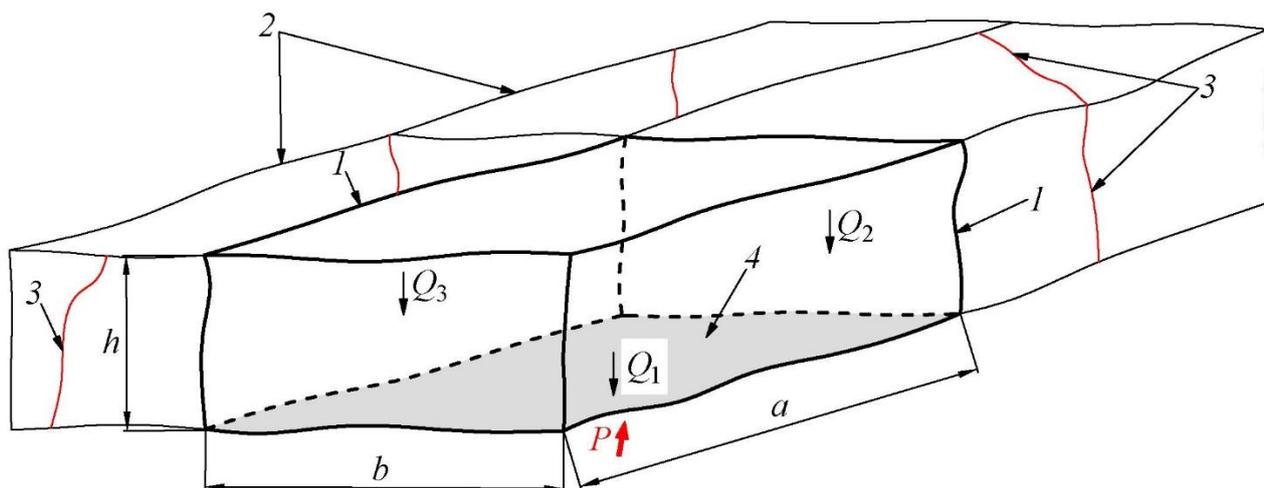


Рисунок 6 – Схема для расчета вырывного усилия при трех свободных поверхностях геологической отдельности: 1 – отделяемый структурный блок; 2 – природный (осадочный) массив; 3 – эндогенные трещины массива; 4 – зона (площадь) контакта геологической отдельности с нижележащим слоем; Q_1 – сила сцепления 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)

В ходе проведения опытно-промышленных работ на Баишевском, Добрятинском и Малеевском месторождениях установлено, что сила сцепления блоков известняка с нижним межслоевым контактом имеет значительные изменения в пределах площади распространения последнего. В контурах вскрытого продуктивного слоя известняка встречаются локальные зоны площадью от 20 до 120 м², в которых значение коэффициента сцепления межслоевых контактов в 1,5–2 раза превышают вырывные усилия экскаватора (зона 4, рисунок 7). Данное обстоятельство в ходе экскаваторной разборки приводит к оставлению временных целиков.

За осенне-зимний и зимне-весенний сезоны прочность межслоевых контактов, обычно представленных мергелями, уменьшается в 2–3 раза. Это позволяет без привлечения более мощного экскаватора или дополнительного оборудования (баровых установок) и, следовательно, без увеличения расходов разбирать оставленные целики в последующий летний период по базовой технологии.

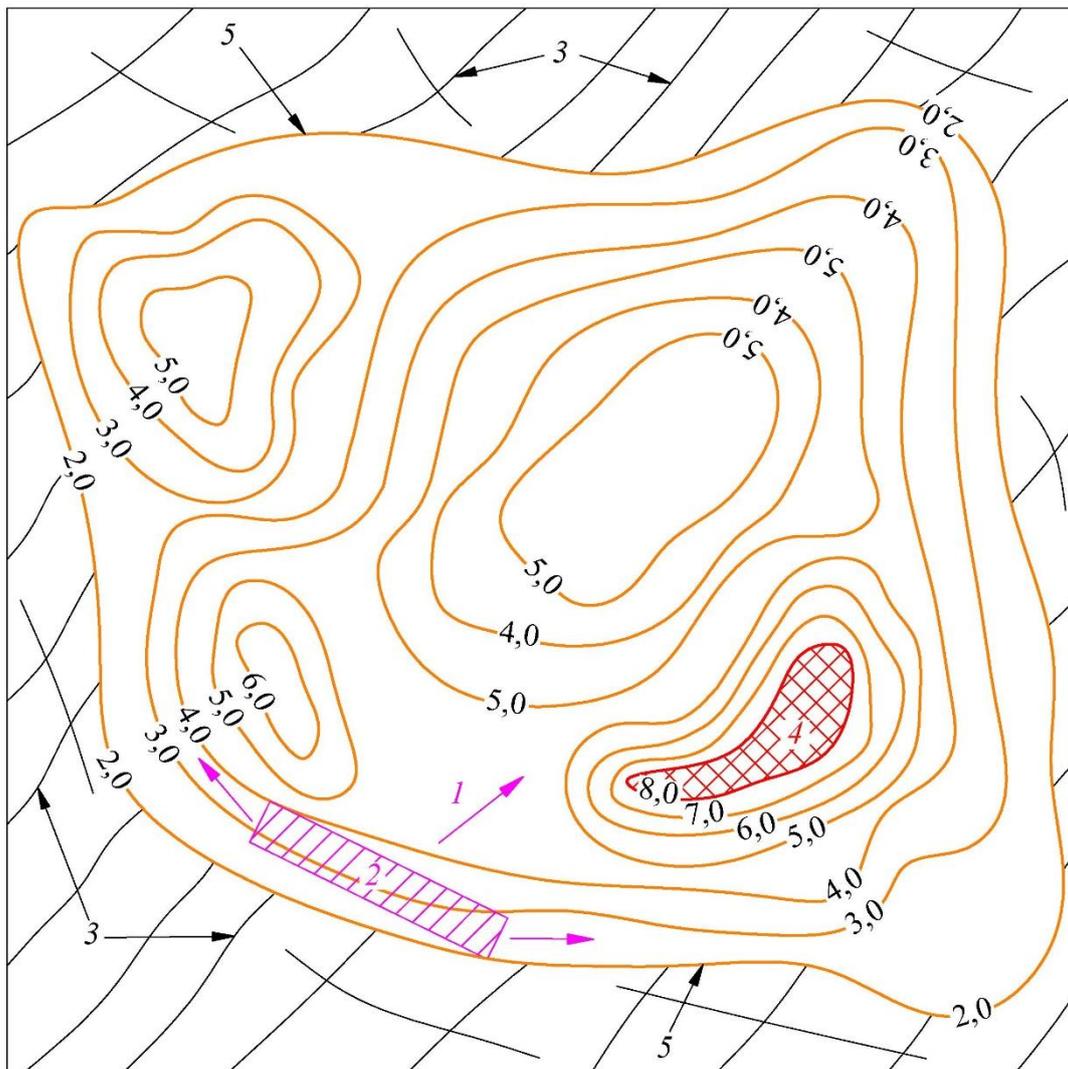


Рисунок 7 – Геометризация выемочных зон карьера по величине значений коэффициента сцепления геологических отдельностей с кровлей межслоевого контакта: 2,0; 3,0 ... 8,0 – значения $K_{сц}$ в размерности t/m^2 ; 1 – направление фронта выемки; 2 – начальный контур добычной заходки; 3 – межслоевые вертикальные (эндогенные) трещины основной системы; 4 – зона продуктивного слоя с повышенным значением $K_{сц}$ (разборка данной зоны гидравлическим экскаватором массой 18–21 т невозможна); 5 – контур вскрытого продуктивного слоя известняка

Эффективным способом ослабления продуктивного слоя перед экскаваторной разборкой является проходка баровых выработок (щелей), которая может осуществляться под различными углами к основной системе трещин карбонатного массива (рисунок 8).

Угол пересечения баровых выработок (щелей) α с основной системой трещин продуктивного слоя предопределяет геометрическую форму и выход блоков (E). Максимальный выход товарных блоков обеспечивается при пересечении щелей с основной системой трещин под углами $\sim 90^\circ$ (рисунок 9).

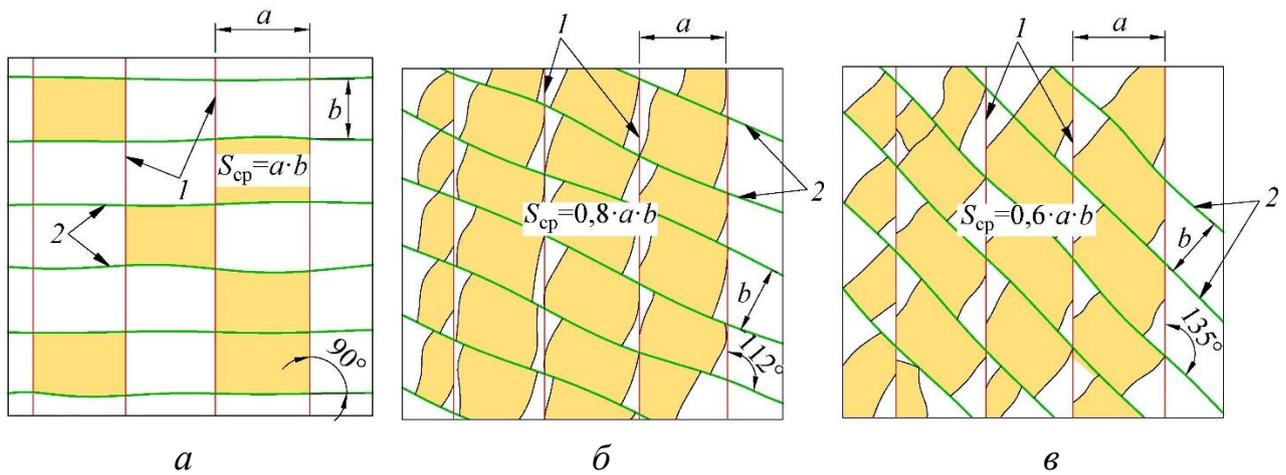


Рисунок 8 – Схема, иллюстрирующая изменение объема и морфологии извлекаемых блоков в зависимости от ориентации баровых выработок относительно основной системы трещин продуктивного слоя карбонатного массива: а) ориентация баровых выработок относительно основной системы трещин под углом 90° ; б) то же, под углом 112° ; в) то же, под углом 135° ; 1 – баровые выработки; 2 – основная система трещин; а – расстояние между смежными баровыми выработками; b – расстояние между смежными трещинами; S_{cp} – средняя площадь (объем) товарного блока

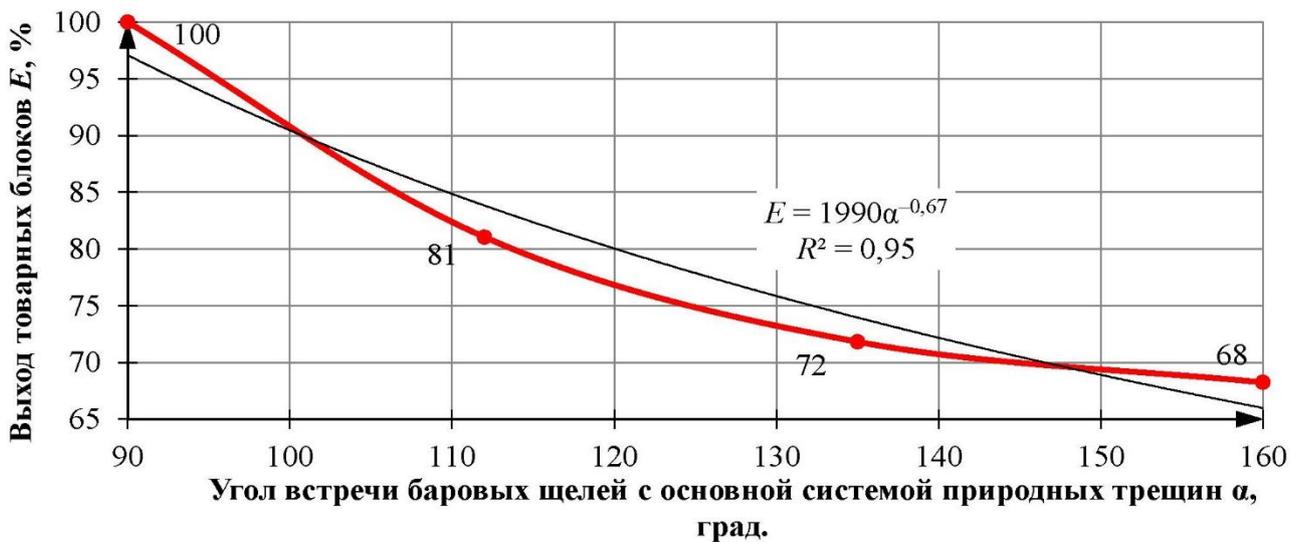


Рисунок 9 – Кривая изменения выхода геологических отдельностей в зависимости от углов встречи баровых щелей с основной системой трещин продуктивного слоя (E – максимально возможный выход товарных блоков для конкретного продуктивного слоя карбонатного массива)

При ослаблении массива баровыми выработками важно определить частоту их заложения. 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 снижение среднего объема товарного блока. Блок меньшего объема имеет более низкую покупательскую способность на рынке из-за пониженного выхода товарной продукции.

Величину расстояния между баровыми щелями для ослабления продуктивного слоя можно представить в виде выражения:

$$l = k \cdot a, \text{ м}, \quad (9)$$

где l – расстояние между баровыми щелями, м;

k – коэффициент пропорциональности (от 0 до 1);

a – среднее расстояние между природными трещинами основной системы в продуктивном выемочном слое, м.

Оптимальное расстояние между щелевыми (баровыми) выработками можно определить исходя из основных экономических критериев: чистого дисконтированного дохода (NPV) и дисконтированного срока окупаемости инвестиций (DPP). На базе критериев NPV и DPP построены кривые (рисунки 10, 11), позволяющие определить оптимальное расстояние между баровыми щелями.

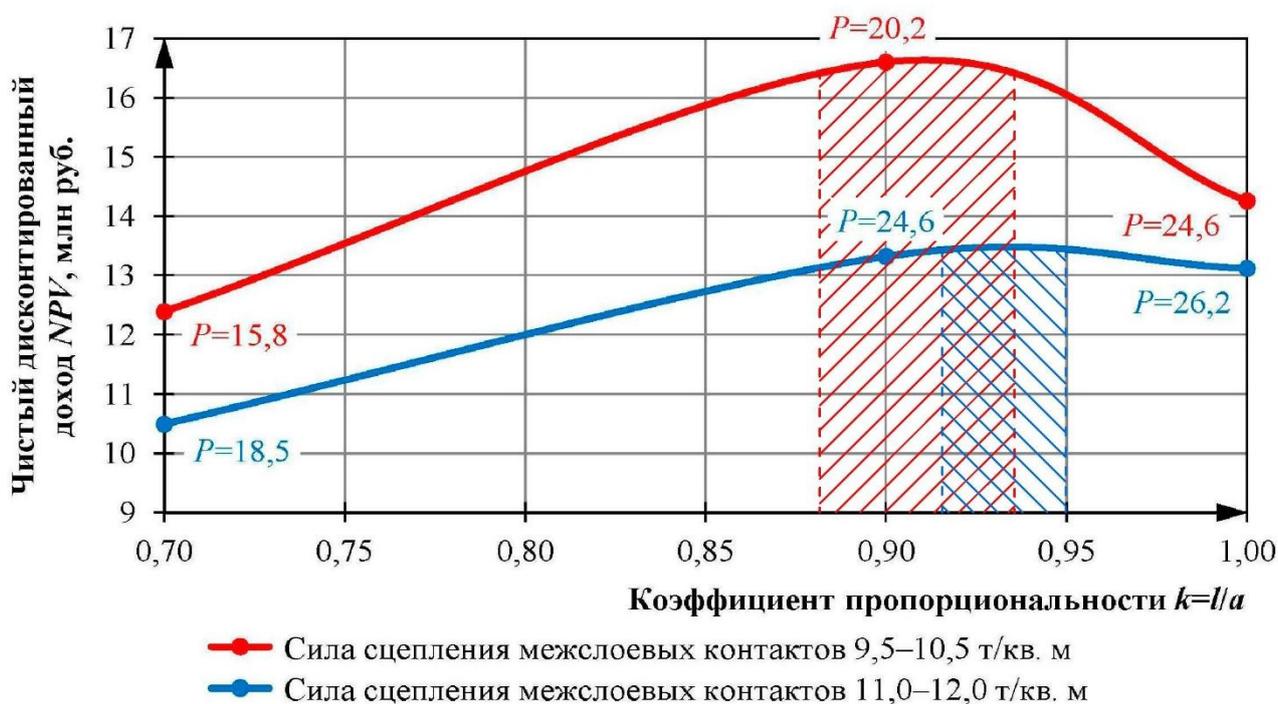


Рисунок 10 – Определение оптимального расстояния между баровыми щелями при различных силах сцепления межслоевых контактов (получено на базе анализа чистых дисконтированных денежных потоков): P – вырывные усилия гидравлического экскаватора, т

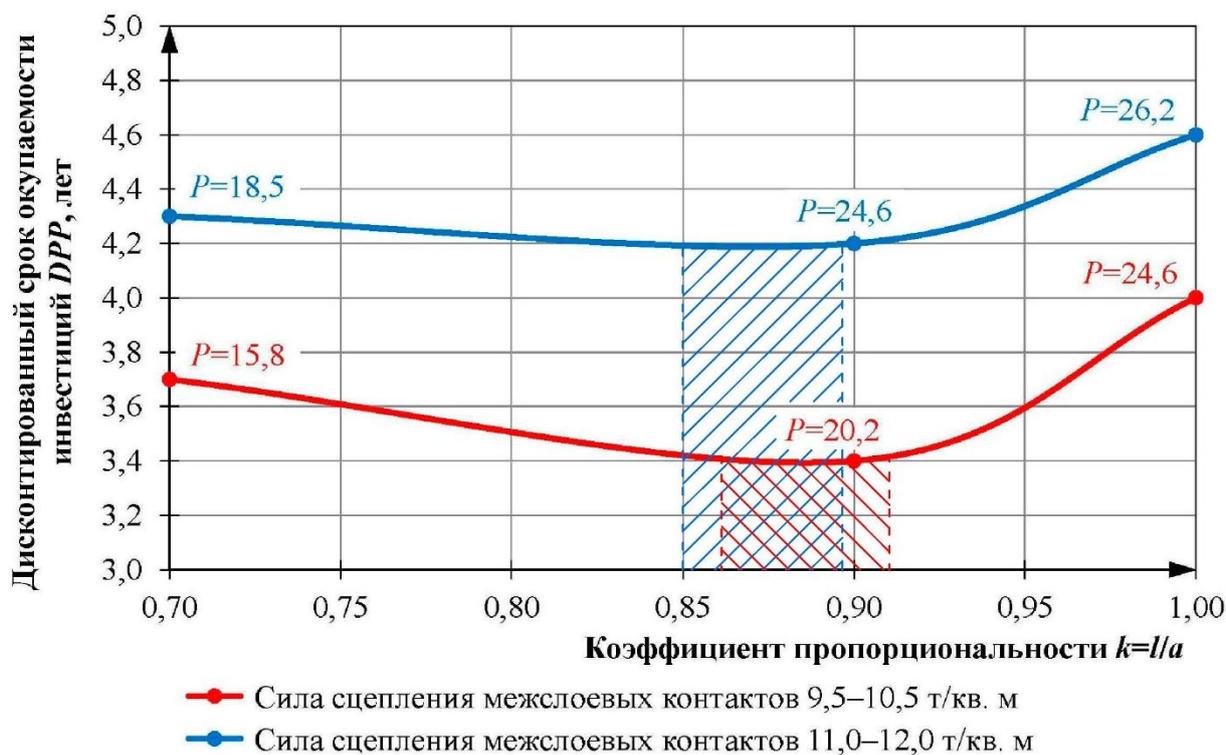


Рисунок 11 – Определение рационального расстояния между баровыми щелями при различных силах сцепления межслоевых контактов (получено на базе анализа дисконтированного срока окупаемости инвестиций): P – вырывные усилия гидравлического экскаватора, т

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что оптимальное расстояние между баровыми щелями (l), направленными вкрест простирания основной системы трещин, составляет порядка $(0,85 - 0,95)a$.

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

Область использования баровых установок может быть определена на базе ранее использованного экономического критерия дисконтированного срока окупаемости инвестиций (DPP). На базе данного критерия выполнено построение кривых для определения области использования баровой установки для ослабления продуктивного слоя перед его разборкой (рисунок 12).

Анализ данных рисунка 12 позволяет сделать вывод о том, что границей перехода от одной технологии к другой является величина силы сцепления межслоевых контактов равная $9,5-10,0 \text{ т/м}^2$ (при вырывных усилиях экскаватора 24–26 т).

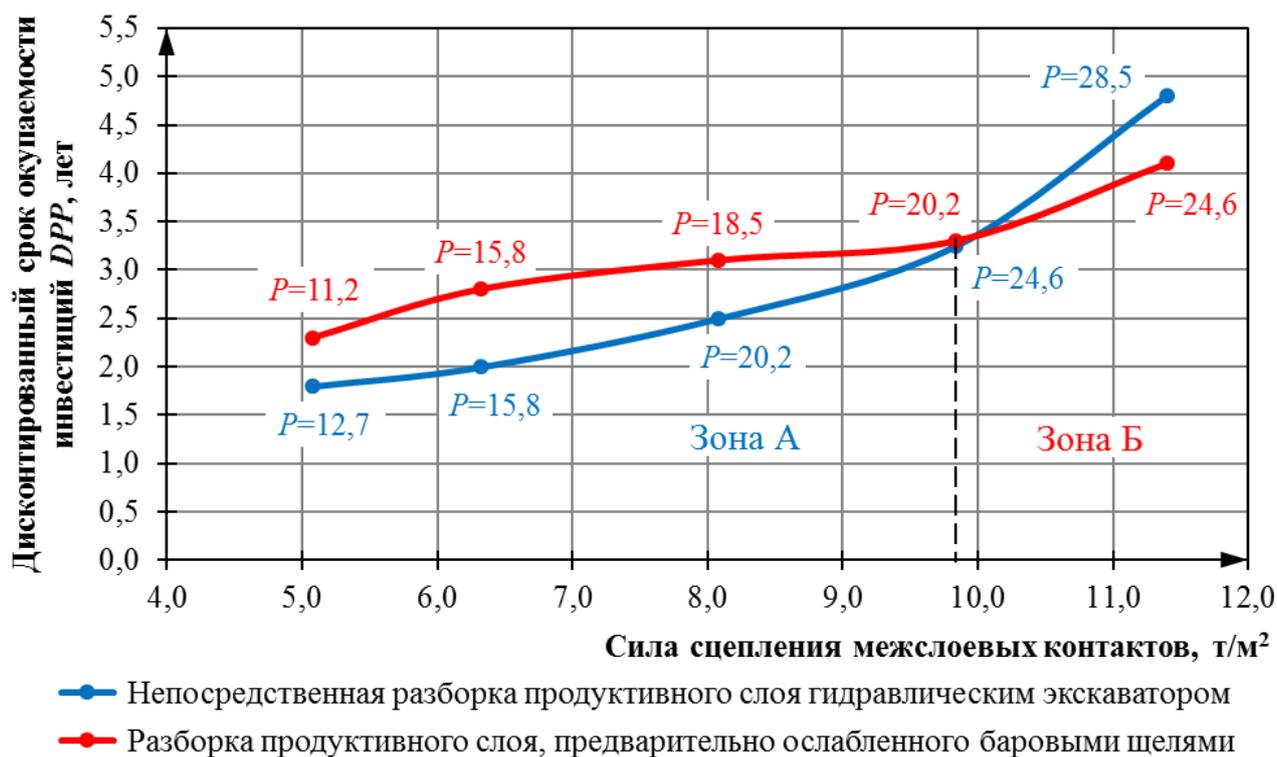


Рисунок 12 – Определение области использования технологий с непосредственной разборкой гидравлическим экскаватором (Зона А) и с предварительным ослаблением продуктивного слоя баровыми щелями (Зона Б) при различных силах сцепления межслоевых контактов (получено на базе анализа дисконтированного срока окупаемости инвестиций): P – вырывные усилия гидравлического экскаватора, т

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 м^3 . Доля кондиционных блоков с объемом более 1 м^3 в продуктивных выемочных слоях известняков мячковского и подольского геологических горизонтов составляет $\sim 32 \%$.

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 $8 \text{ м}^3/\text{м}^3$. При таких значениях $K_{пр}$ для большинства карбонатных месторождений Русской платформы ($80\text{--}85 \%$) 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 $0,45 \text{ кг}/\text{м}^3$).

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 $9,5\text{--}10,0 \text{ т/м}^2$, 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 публикаций по теме диссертации:

1. Супрун В.И., Стромогов А.В. Трещиноватость и блочность карбонатных массивов Русской платформы // Горный журнал. – 2008. – № 1. – С. 17–18.
2. Стромогов А.В. Оптимизация безвзрывной технологии разборки карбонатных массивов Русской платформы на блочный камень // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2017. – № 9. – С. 185–190.
3. Стромогов А.В. Технология безвзрывной отработки карбонатных массивов на блочный камень // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2017. – № 9. – С. 191–195.
4. Звягинцев Л.И., Супрун В.И., Кулин Н.М., Стромогов А.В. и др. Технология добычи блоков известняка // Камень и бизнес. – 2001. – № 1. – С. 7–8.
5. Стромогов А.В., Супрун Е.В. Требования к качеству белого камня для реставрационных работ // Камень и бизнес. – 2003. – № 2. – С. 12–14.
6. Стромогов А.В., Супрун Е.В. Использование природного камня в храмостроительстве // Православный экономический вестник Приход. – 2003. – № 4 – С. 51-54; № 5. – С. 50–55.
7. Стромогов А.В., Супрун Е.В. Реставрация и воссоздание каменных памятников древней Руси // Империя камня. – 2005. – июнь. – С. 64–66.
8. Стромогов 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, (<http://mst.misis.ru/jour/index>).

9. Супрун В.И., Артемьев В.Б., Опанасенко П.И., Левченко Я.В., Стромонотов А.В., Бульбашев А.П. Перспективная техника и технологии для производства открытых горных работ. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2017. – 208 с.