

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Пташник Юлия Павловна

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЛЯ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ  
ИЗВЕСТНЯКОВЫХ КАРЬЕРОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Специальность

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук, профессор  
Косолапов Александр Иннокентьевич

Красноярск - 2015

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	8
1.1 Краткая характеристика месторождений известняка и анализ современного состояния сырьевой базы .....	8
1.2 Анализ современного состояния технологии горных работ при разработке месторождений известняка .....	13
1.3 Современное состояние исследований технологии горных работ и использования выработанных пространств известняковых карьеров.....	21
1.4 Цель, задачи и методы исследований .....	32
2 АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИЗВЕСТНЯКА И ХАРАКТЕРИСТИКА ИХ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ В ВЫРАБОТАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ КАРЬЕРОВ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	33
2.1 Исследование взаимосвязи между показателями условий разработки месторождений известняка .....	33
2.2 Оценка относительной трудности разработки месторождений известняка .....	37
2.3 Проблемы и перспективы использования выработанных пространств известняковых карьеров в строительстве .....	40
2.4 Анализ возможности размещения в выработанном пространстве карьеров объектов промышленного и гражданского назначения .....	44
2.5 Выводы .....	50
3 МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИЗВЕСТНЯКА .....	51
3.1 Основные принципы оценки эффективности технологии разработки месторождений известняка и формирования выработанного пространства .....	51
3.2 Экономические критерии для оценки технологии разработки месторождений известняка и формирования выработанного пространства .....	58

3.3 Методика расчета основных технико-экономических показателей технологии разработки месторождений известняка .....	61
3.4 Выводы .....	63
4 ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА ВСКРЫТИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИЗВЕСТНЯКА .....	64
4.1 Способы вскрытия месторождений разрабатываемых открытым способом....	64
4.2 Исследование влияния параметров вскрывающих выработок и формы бортов карьеров в плане на показатели землепользования .....	67
4.3 Разработка технологии вскрытия месторождения комбинированным способом и обоснование глубины заложения концентрационного горизонта .....	79
4.4 Выводы .....	89
5 ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИЗВЕСТНЯКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЫРАБОТАННОГО КАРЬЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ .....	91
5.1 Технология разработки месторождений известняка и факторы влияющие на её выбор .....	91
5.2 Анализ вариантов технологии разработки месторождений известняка при использовании выработанных пространств карьеров в строительстве.....	93
5.3 Обоснование условий эффективного применения вариантов технологии разработки месторождений известняка при последующем использовании выработанного пространства в строительстве .....	93
5.4 Исследования влияния технологии разработки месторождений известняка на показатели землеемкости, объемы вскрышных работ и затраты на рекультивацию нарушенных земель.....	115
5.5 Выводы .....	132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	134
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	137

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** В настоящее время, крупные города, увеличивая темпы строительства с каждым последующим годом, все острее нуждаются в территориях для размещения новых объектов инфраструктуры. При этом, стоимость земли вблизи центров агломерации, имеет тенденцию положительного роста во времени. Вместе с тем, периферийные территории, как правило, имеют достаточно большое количество техногенных горных выработок как открытого, так и подземного типа. Данные выработки с учетом рационального использования недр в условиях разработки генерального плана города и окрестных территорий могут быть потенциально использованы под различные объекты. Мировой опыт использования данного вида георесурса это доказывает. Использование выработанного пространства горных предприятий расположенных вблизи центров агломераций, в значительной степени улучшит среду обитания человека, позволит сохранить природный ландшафт и архитектурно-исторический облик городов, сгладит экологически обостренную обстановку в регионах.

Однако, оценка существующих техногенных горных выработок, свидетельствует о низкой степени их пригодности. Именно поэтому, а также ввиду наличия абсолютно конкретных требований, предъявляемых к объектам капитального строительства, целесообразен стратегический подход к освоению недр земли вблизи центров агломераций. Этот подход должен заключаться в раскрое месторождений полезных ископаемых с учётом, как условий залегания и морфологии рудных тел, так и последующего использования выработанного пространства под объект конкретного назначения, с заданными размерами. Поэтому обоснование технологии открытой разработки месторождений, обеспечивающей эффективное использование выработанного пространства горнодобывающих предприятий, является актуальной научно-практической задачей.

**Степень разработанности темы.** Значительный вклад в научное обоснование технологических решений в области освоения недр отражен в работах отечественных ученых.



Несмотря на то, что комплексное освоение недр уже долгое время является важным вопросом горной науки, поиск новых технических решений и обоснование их параметров при освоении недр на этапе проектирования и формирования горнотехнических сооружений до сих пор весьма актуален.

**Цель работы.** Обоснование технологии горных работ, обеспечивающей использование выработанных пространств известняковых карьеров для строительства.

**Идея работы.** Рациональная технология открытых горных работ должна обеспечить минимум затрат на разработку месторождения известняка и последующее использование выработанного пространства карьера в строительстве.

**Задачи исследования:**

1. Проанализировать имеющийся мировой опыт по использованию выработанных пространств горнодобывающих предприятий.
2. Исследовать параметры и состояние существующих техногенных выработок, оценить возможность их использования для строительства.
3. Обосновать технологию горных работ и условия применения способов подготовки пород к выемке для создания выработанного пространства требуемого качества и заданной формы.

**Научная новизна работы:**

1. Обоснованы условия рационального применения вариантов технологических схем, основанных на комбинации различных способов подготовки известняков к выемке.
2. Установлена зависимость глубины заложения концентрационного горизонта при комбинированном вскрытии от относительной трудности разработки месторождения известняка.
3. Выявлены закономерности, для оценки, влияния технологии разработки месторождений известняка на показатели землепользования карьеров.

**Практическое значение работы** состоит в том, что её результаты позволяют разрабатывать обоснованные технологические решения для разработки месторождений известняка при последующем использовании выработанных пространств карьеров в строительстве. Предложены способы разработки месторождений, защищенные патентами РФ № 2515649 и № 2499139.

**Реализация выводов и рекомендаций.** Разработанный комплекс технологических решений принят при проектировании карьеров по разработке Малокамалинского и Мазульского месторождений известняков. Реализация проектных решений позволяет сократить затраты на рекультивацию и последующее использование выработанных пространств. Расчетный экономический эффект от внедрения составил 26,9 млн.руб./год. Результаты исследований можно использовать в учебном процессе при подготовке горных инженеров по специальности «Открытые горные работы».

#### **Методология и методы исследования.**

В работе выполнено аналитическое обобщение сведений, содержащихся в научно-технической и специальной литературе, численное моделирование и обработка его результатов с применением программных пакетов Microsoft Office Excel, а также промышленное внедрение.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Выработанное пространство известняковых карьеров следует формировать с учётом необходимых параметров сооружения, размещаемого в нем после завершения разработки месторождения или его части, применяя технологию горных работ, позволяющую минимизировать землепользование и затраты на рекультивацию нарушенных земель.

2. Сокращение объема вскрышных работ в карьере и затрат на использование выработанного пространства после разработки месторождения обеспечивает комбинированное вскрытие месторождения известняка при рациональном расположении концентрационного горизонта, глубина заложения которого предопределена особенностями строения месторождения, обуславливающими относительную трудность его разработки, с увеличением последней она возрастает.

3. Применение технологических схем, основанных на комбинации различных способов подготовки пород к выемке, создающих поверхность требуемого качества для строительства, повышает эффективность использования выработанных пространств известняковых карьеров, при этом область применения безвзрывной технологии ограничена прочностью пород на одноосное сжатие и расширяется при увеличении средней площади карьера.

#### **Степень достоверности работы.**

Подтверждается большим объемом проанализированной и обобщенной информации в области комплексного освоения недр отечественных и зарубежных горнодобывающих предприятий; патентной защитой новых технологических решений.

**Апробация работы.** Основные положения работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры «Открытые горные работы» СФУ ИГДГиГ; на VI и IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодёжь и наука» (г. Красноярск, 2010, 2013).

**Личный вклад автора.** Заключается в выполнении основного объема теоретических исследований изложенных в диссертационной работе, включая постановку целей и задач исследования; в установлении зависимостей по оценке производственных параметров и параметров заложения концентрационного горизонта в условиях формирования предельного контура карьера требуемых параметров; в обосновании технологии горных работ, обеспечивающей повышение рационального освоение ресурсов недр, за счёт использования техногенных выработок в пост эксплуатационный период по иному функциональному назначению; формулировании обоснованных выводов при составлении материалов публикаций и докладов.

#### **Публикации.**

По результатам выполненных исследований опубликовано 8 печатных работ, в том числе 3 в изданиях, аннотированных ВАК. Получено 2 патента Российской Федерации на изобретения.

**Объём и структура работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, изложена на 145 страницах машинописного текста, включает 13 таблиц, 84 рисунков и список литературы из 90 наименований.

# 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1 Краткая характеристика месторождений известняка и анализ современного состояния сырьевой базы

Карбонатные породы разнообразны по своему вещественному составу, подразделяются они в зависимости от содержания в них кальцита и доломита и от их соотношения. Существуют следующие разновидности карбонатных пород: известняк, мрамор, доломиты, мергель и магнезит [1]. В нашей стране известняки имеют весьма широкое распространение. Во многих районах их запасы практически неограниченны. Геологический разрез характерных месторождений известняка приведен на рисунке 1.1 [2].

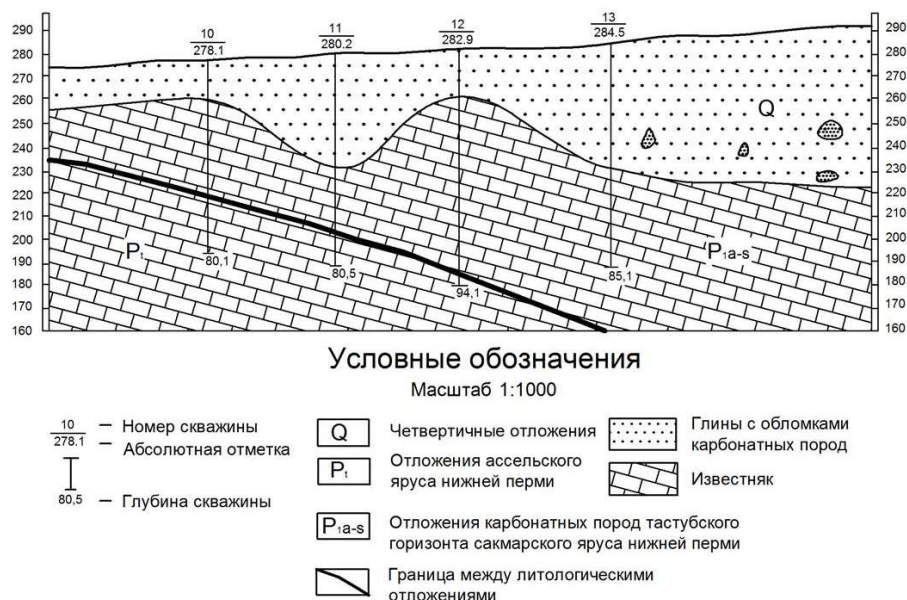


Рисунок 1.1 – Типовой геологический разрез месторождения известняка [2]

Из зарегистрированных Геологическим фондом 2500 месторождений нерудных полезных ископаемых с общими балансовыми запасами около 14 млрд. м<sup>3</sup> на долю карбонатных приходится более 1100 месторождений, из которых 60% приходится на известняк. Многие месторождения недостаточно разведаны и изучены и не учтены в балансовых запасах [3].

Среди карбонатных пород особенно широко распространены известняки. Месторождения их, как правило, весьма удобны для открытых разработок, так как расположены вблизи крупных городов, а также в сельскохозяйственных районах.

**Известняк** – широко распространённая осадочная горная порода. Состоит в основном из кальцита ( $\text{CaCO}_3$ ) или кальцитовых скелетных останков организмов часто с примесью минерала доломита, глинистых и песчаных частиц. Чистый известняк – белого или светло-серого цвета [4].

Залежи известняков встречаются среди отложений всех геологических систем: от докембрийских до четвертичной. Наиболее интенсивное образование известняков происходило в силуре, карбоне, юре и верхнем мелу. Мощность толщ известняков изменяется от нескольких сантиметров, а иногда образуют залежи большой толщины до 5000 м.

Пласты известняков обычно тянутся на большие расстояния, измеряемые сотнями километров, при этом известняки в одном каком-либо месте не всегда одинаковы по составу во всей своей толще. Месторождение известняков обычно состоят из отдельных пластов, отличных по своим качествам, плотности, мощности и составным частям. Пласты известняка иногда чередуются с пластами глин, песков и других горных пород.

При своем образовании известняки чаще всего залежали горизонтально. В тех местах, где потом образовались земные складки – горные хребты и горы, – пласты известняков изогнуты, и в таких случаях они располагаются уже не горизонтальными, а наклонными пластами. Наклон пластов бывает различный в зависимости от характера образовавшихся гор.

Пласты известняков, находящиеся близко к поверхности, размываются речными и атмосферными водами. Местность, где на поверхность выступают размываемые известняки, имеет своеобразный характер и называется карстовым [5].

Большинство пластов известняка пронизано сетью больших и малых, горизонтальных и вертикальных трещин. Благодаря этим трещинам добыча известняка очень облегчается. По этим же трещинам при добыче известняка взрывом получают куски такой величины, какую они имели в природном залегании до взрывных работ. Трещины в известняках обычно заполнены глиной, песком, мергелем и другими вмещающими породами. Причины образования трещин в известняках недостаточно изучены. Считается, что они могли получиться от высыхания, изменения

давления, а также температурных воздействий [5]. На территории Российской Федерации преобладают известняки средней и высокой прочности (от 30 до 200 МПа и выше).

Известняки используются: для строительства, для производства извести и цемента, в производстве силикатного кирпича, в химической промышленности, в сахарном производстве и т.д.

Увеличение темпов строительства, ведет к тому, что города все острее нуждаются в строительных материалах, сырьем для которых служат карбонатные породы, в частности для производства цемента необходим известняк. Так, например предприятие по производству цемента ООО «Красноярский цемент» имеет производственную мощность завода 1 миллион 100 тыс. т. цемента в год. Сырьевой базой для данного предприятия служит Торгашинское месторождение известняков и Кузнецовское месторождение глин, расположенные в непосредственной близости от предприятия.

Вся цементная промышленность России представлена 50 заводами по производству цемента общей мощностью 60 млн.т. Ниже представлена диаграмма производства и потребления цемента за последнее десятилетие (рисунок 1.2) [6]

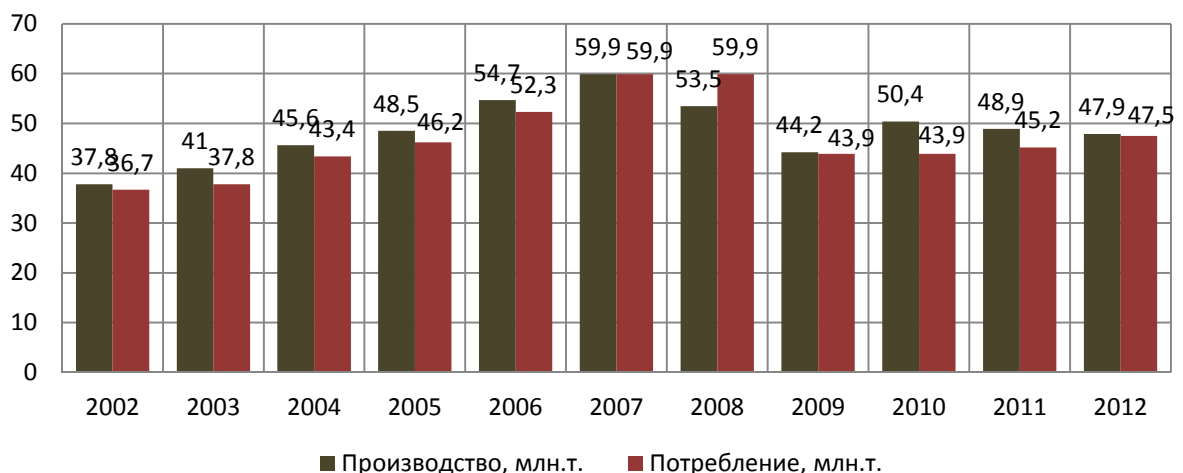


Рисунок 1.2 – Динамика изменения спроса и предложения цемента за десять лет [6]

По данным Росстата объем производства цемента в России увеличился за период с 2002 по 2007 год в 1,6 раза.

Известь, получаемая путем обжига смеси известняков, является одним из необходимых компонентов в сталелитейном и агломерационном производствах. На рисунке 1.3 приведена структура мировой добычи известняка за 2013 год [7].

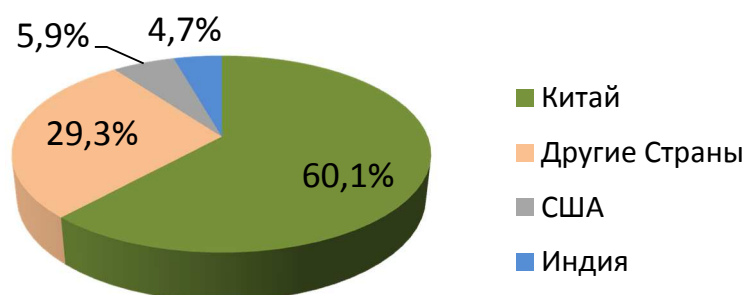


Рисунок 1.3 – Структура добычи известняка за 2013 год в мире [7]

Известняк флюсовый, является единственным видом основного флюса, на российских металлургических заводах, представляющий собой природную форму минерала кальцита –  $\text{CaCO}_3$ . Чистый кальцит содержит 56 %  $\text{CaO}$  и 44 %  $\text{SiO}_2$ . Флюсами называются добавки, вводимые в доменную и агломерационную шихту для снижения температуры плавления пустой породы шихтовых материалов и придания доменному шлаку необходимого состава и физических свойств, обеспечивающих очистку чугуна от серы и нормальную работу печи.

Государственным балансом РФ в настоящее время учтены запасы 62 месторождений флюсовых известняков. Балансовые запасы флюсовых известняков по категории А+В+С1, составляют 6657,4 млн. т, категории С2 – 1716,4 млн. т; забалансовые – 70,2 млн. т. [3].

Количество запасов и добычи флюсового известняка в процентном соотношении по федеральным округам показано на рисунке 1.4. К группе разрабатываемых отнесены 28 месторождений с балансовыми запасами известняков по категории А+В+С1 2795,1 млн. т, что составляет 42% от запасов Российской Федерации. На территории Сибирского федерального округа расположены 4 разрабатываемых месторождения флюсовых известняков. Наиболее крупными по запасам являются месторождения Карачкинское и Мало-Салаирское в Кемеровской обл., а также Мазульское месторождение, расположенное в Красноярском крае.

К группе подготавливаемых к освоению отнесены 5 месторождений флюсовых известняков. В федеральном резерве находятся 29 месторождений флюсовых известняков с балансовыми запасами по категориям А+В+С1 2901,2 млн. т., что составляет 43,6% от запасов Российской Федерации [8].

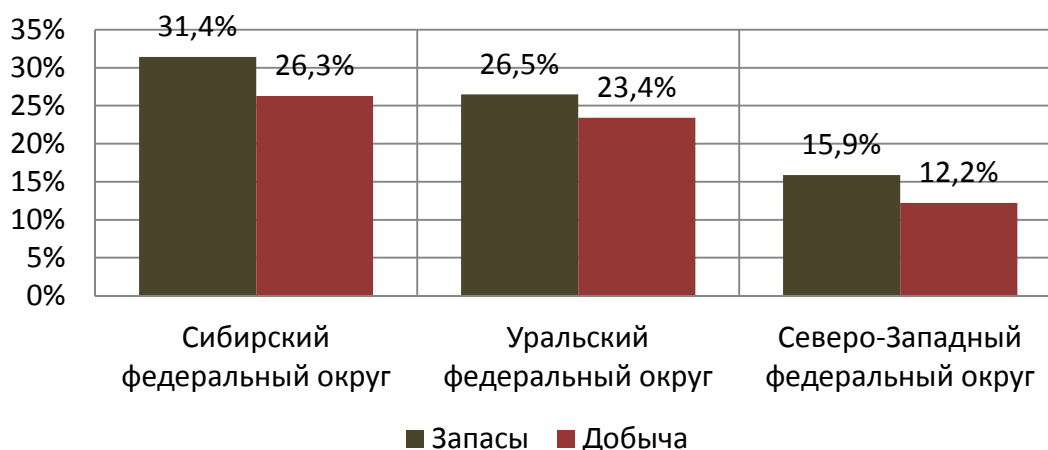


Рисунок 1.4 – Распределение запасов и добычи флюсового известняка по федеральным округам [8]

Крупнейшие российские месторождения известняка (запасы свыше 100 млн.т. или млн.м<sup>3</sup>) представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Крупнейшие месторождения России

Месторождение	Регион	Запасы, тыс. т	Область использования, качество	Степень освоения
Пронское	Рязанская обл.	657980	сырье для производства цемента	гос. резерв
Сухореченское	Челябинская обл.	418330	флюсовые известняки: CaO - 50,5-55,2%; SiO <sub>2</sub> – 0,24-3,04%	гос. резерв
Урусовское	Тульская обл.	415768	флюсовые известняки: CaO - 52-55,8%; SiO <sub>2</sub> – 0,1-1%; MgO – 0,3-1%	гос. резерв
Гальянское	Свердловская обл.	384244	флюсовые известняки: CaO – 55,3%; SiO <sub>2</sub> – 0,15%; MgO – 0,51%;P – 0,013%	разрабат.
Аккермановское	Оренбургская обл.	376303	Флюсовые известняки: CaO – 51,2-56%; SiO <sub>2</sub> – 0,10-3,37%	разрабат.
Джегутинское	Карачаево-черкесская респ.	352269	сырье для производства цемента	разрабат.
Чаньвинское (Костанокский участок)	Пермский край	333253	известняки для химического производства CaO <sub>3</sub> – 94,0%; SiO <sub>2</sub> – 2,5%; MgCO <sub>3</sub> – 4%;	разрабат.
Карачинское	Кемеровская обл.	322818	флюсовые известняки	разрабат.
Пикалевское	Ленинградская обл.	307278	флюсовые известняки: CaO – 53,6%; SiO <sub>2</sub> – 0,9%; MgO – 1,4%	разрабат.
Соломинское	Кемеровская обл.	306129	сырье для производства цемента	разрабат.
Мало-Салаирское	Кемеровская обл.	275155	флюсовые известняки	разрабат.
Храповицкое	Владимирская обл.	258555	сырье для производства цемента	гос. резерв
		50070	строительные камни	разрабат.



В таблице 1.2 приведена характеристика месторождений которые находятся в Красноярском крае и Хакасии [9,10].

Таблица 1.2 – Месторождения карбонатных пород Красноярского края и Хакасии

Номер п/п	Наименование месторождения	Объемный вес, т/м <sup>3</sup>	Мощность полезного ископаемого, м	Мощность вскрыши, м	Запасы, тыс. м <sup>3</sup>	Рельеф месторождения
1	Малокамалинское	2,5-2,7	41,8	5	757,4	возвышенность
2	Саратахское	2,3-2,5	50	4,7	7142	средне-горный
3	Осиновское	2,0-2,2	60	5,2	661	нагорный
4	Мазульское	1,9-2,5	100	5,7	161900	возвышенность
5	Подкамешек	2,6-2,7	45	1,4	67000	гора-залеж
6	Ербинское	2,7-2,8	18	0,5	1230	нагорный
7	Крутокачинское	1,3-2,1	61	4	1028	гора-залеж
8	Артемовское	2,6-2,7	45	2,3	2390	гора-залеж
9	Торгашинское	2,1-2,5	500	0,2-7,6	74540	нагорный
10	Рудничное	2,6-2,7	210	0-41	72200	-
11	Подгорное	2,6-2,7	130	0,6-10	93980	-
12	Гарьское	2,5-2,6	23	2	14800	-

В целом по России достигнутый уровень добычи карбонатных пород, в частности известняков, обеспечен промышленными запасами на долгую перспективу. В связи с этим предпочтение в освоение должно отдаваться тем месторождениям, возле которых существует развитая инфраструктура. Это позволит после отработки запасов месторождения или его части использовать оставшееся выработанное пространство карьеров для строительства зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения.

## 1.2 Анализ современного состояния технологии горных работ при разработке месторождений известняка

Месторождения известняка имеют пластообразную или линзообразную, изометрическую форму залежей и это оказывает существенное влияние на выбор технологии их разработки.

Технология имеет свои особенности, обусловленные небольшой мощностью вскрышных пород, которые представлены преимущественно рыхлыми, мягкими породами, песками и суглинками.

Известняк с коэффициентом крепости  $f=8$  по шкале проф. М. М. Протодяконова относится к крепким горным породам, которые требуют предварительной

подготовки массива к выемке буровзрывным, механическим или другими способами.

Горные предприятия во всем мире, которые ведут разработку месторождений известняка, подготовку горной массы к выемке осуществляют буровзрывным способом.

Однако буровзрывные работы имеют ряд недостатков, к ним относятся выделение больших объемов пылегазовой смеси, значительные затраты на бурение и на взрывчатые материалы, создание серьезных сейсмических и значительных шумовых нагрузок на прилегающие к карьеру территории, а также нарушают монолитность массива, влияя тем самым на устойчивость откосов уступов в карьере.

Производство взрывных работ на карьерах известняка приводит к неравномерному разрыхлению горной массы. Выход негабаритов при взрывных работах достаточно высок и требует последующее их дробление механическими средствами или взрывным способом.

Внедрение безвзрывной технологии разработки месторождений известняка с использованием в качестве выемочно-погрузочного оборудования карьерных комбайнов нового типа позволяет эффективно разрабатывать массивы с невысокой прочностью горных пород. Данная технология обеспечивает сокращение экологической нагрузки горного производства, позволяет увеличить полноту извлечения минерального сырья требуемого качества, снизить выход мелкой фракции и повысить безопасность работ.

Оборудование, используемое при безвзрывной разработке горных пород, по функциональному назначению может быть разделено на два класса, а по конструктивно-технологическим признакам на пять групп (рисунок 1.5) [11].



Рисунок 1.5 – Оборудование для безвзрывной разработки массива горных пород на карьерах [11]

Бульдозер-рыхлитель разрушает скальные и мерзлые породы. Наибольший эффект достигается при рыхлении трещиноватых и слоистых пород.

На рисунке 1.6 показана технология добычи полезных ископаемых с предварительным рыхлением [12].

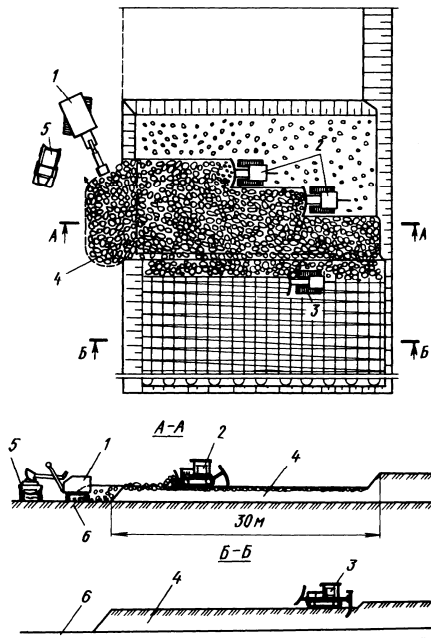


Рисунок 1.6 – Добыча полезных ископаемых открытым способом с предварительным рыхлением: 1 – экскаватор; 2 – бульдозеры; 3 – бульдозер-рыхлитель; 4 – вскрыша; 5 – автотранспорт; 6 – полезное ископаемое [12]

В настоящее время разработке одноковшовых и роторных экскаваторов, используемых, как основное оборудование, при безвзрывной разработке горных по-

род уделяется огромное внимание. В их основе лежит принцип ударного разрушения, когда усилия на каждый зуб ковша исчисляются сотнями тонн, позволяющие разрабатывать породы с пределом прочности на сжатие до 70 МПа. В частности, хорошие перспективы имеют экскаваторы нового поколения ЭКГ-5В, оснащённые ковшами активного действия (рисунок 1.7), изготовленные на базе серийного экскаватора ЭКГ-5А [13].

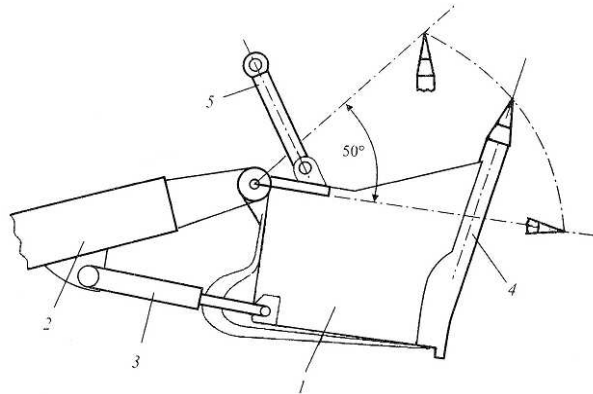


Рисунок 1.7 – Схема поворотного ковша активного действия (КАД): 1 – ковш; 2 – рукоять экскаватора; 3 – гидроцилиндр поворота ковша; 4 – пневмоударник; 5 – элемент подвески ковша [13]

Ударные зубья приводятся в действие мощными пневмоударниками (пневмомолотами), с возможной энергией единичного удара до 200-250 Дж на 1 см ширины зуба и с частотой ударов до 8-12 Гц. Пневмоударный механизм КАД автоматически включается в действие при увеличении сопротивления копания и обеспечивает разрушение породы уже на этапе черпания. В странах Германия, Австрия, Швеция созданы и успешно эксплуатируются гидравлические экскаваторы для безвзрывной выемки [13].

В целях реализации поточной безвзрывной технологии разработки полускальных и скальных пород был сконструирован компактный роторный экскаватор с высоким усилием резания. На рисунке 1.8 показан компактный роторный экскаватор компании «Sandvik Mining and Construction» (Венгрия, 2009г.). Промышленные испытания образцов таких экскаваторов подтвердили принципиальную возможность использования этих машин для безвзрывной выемки пород с пределом прочности при одноосном сжатии до 60-80 МПа [14].



Рисунок 1.8 – Компактный роторный экскаватор компании «Sandvik Mining and Construction» [14]

Другим направлением развития средств механизации безвзрывной технологии является создание горных комбайнов, которые позволяют осуществлять добычу полезного ископаемого без дополнительных затрат связанных с предварительной подготовкой крепких горных пород к выемки с помощью буровзрывных работ.

Принципиальные и компоновочные схемы карьерных комбайнов, которые получили наибольшее распространение в мире, в зависимости от вариантов расположения рабочего органа, показаны на рисунке 1.9 [15]:

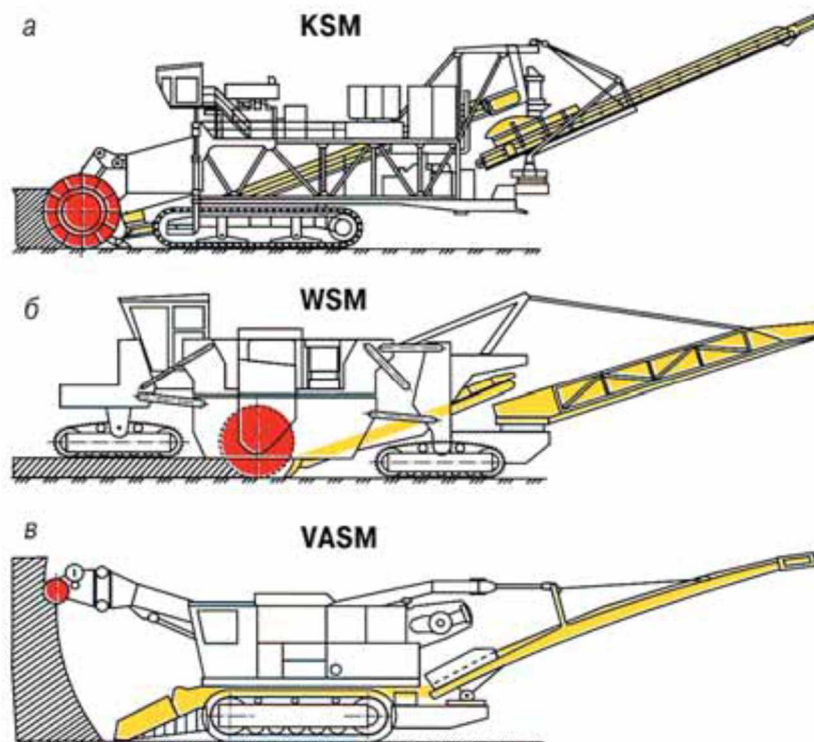


Рисунок 1.9 – Принципиальные компоновочные схемы карьерных комбайнов [15]

- в передней части машины (модель KSM, изготовитель фирма «Krupp»);
- на раме по центру (модель WSM изготовитель фирма «Wirtgen»);
- с отдельным от приемного конвейера (модель VASM изготовитель «VOEST-Alpine»).

Карьерные комбайны показанные выше, в отличие от роторных и одноковшовых экскаваторов, которые осуществляют выемку горных пород почти стационарно, комбайн послойной выемки пород представляет собой мобильное устройство с высокой скоростью передвижки, забоем же для комбайнов является поверхность площадки уступа. Исходя из практики, наибольшую эффективность показали карьерные комбайны непрерывного действия с центральным и передним расположением рабочего органа, обеспечивающие послойную выемку пород прочностью до 150 МПа [15, 16].

Технология добычи полезных ископаемых с применением комбайнов показана на рисунке 1.10 [17, 18]. Горные комбайны представляют собой мощные самоходные агрегаты на гусеничном ходу с электрическим или дизельным приводом.

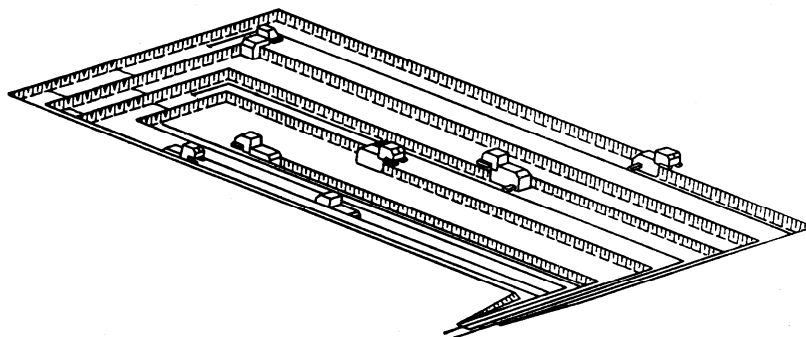


Рисунок 1.10 – Технологическая схема разработки горных пород комбайнами

В 70-х годах в США для обеспечения поточной технологии добычи полезных ископаемых открытым способом был разработан ряд образцов комбайнов непрерывного действия для карьеров, получивших название стреловые комбайны фрезерного типа.

В настоящее время в различных странах мира комбайны данного типа используются при разработке месторождений известняков и других полезных ископаемых. Причем на некоторых карьерах мира они являются основным видом добычного оборудования.

Различные по конструкции и техническим характеристикам фрезерные комбайны для карьеров изготавливаются машиностроительными фирмами Германии, США, Англии и других стран мира. Наиболее широко известны комбайны фирм производителей: «Виртген» (WSM), «КруппФердертехник» (KSM), «МанТакраф» (MTS), «Фест Альпине» (VASM).

Обычно комбайны создают с учетом конкретных горно-геологических условий их использования. Примером является комбайн KSM-2000К (рисунок 1.11), разработанный совместно фирмой «КруппФердертехник» и ИГД им. Скочинского.

Производственный опыт доказал возможность использования подобных машин для отработки массивов с пределом прочности пород на одноосное сжатие до 40–50 МПа [18].



Рисунок 1.11 – Общий вид комбайна KSM-2000К [18]

Фирма «Wirtgen» выпускает карьерные комбайны трех классов – 2200 SM, 2500 SM и новый 4200 SM с рабочей шириной фрезерного барабана 2,2÷4,2 м, с глубиной фрезерования 20÷83 см и производительностью 100÷3000 т/ч. Комбайны WSM широко применяются для пород с пределом прочности на одноосное сжатие 80÷100 МПа. Анализ мирового опыта эксплуатации комбайнов «Wirtgen» показал, что их применяют на угольных карьерах, бокситовых, гипсовых, а также на карьерах по добыче известняка. Применение комбайна «Wirtgen» на карьерах строительных материалов в Испании, позволило отказаться от использования дробилки первичного



дробления. Безвзрывная технология ведения добычных работ комбайном 4200 SM показана на рисунке 1.12 [19].



Рисунок 1.12 – Безвзрывная технология с использованием комбайна 4200 SM [19]

Технология добычи с применением на карьерах комбайнов является перспективным направлением развития открытого способа разработки, она позволяет совмещать в один процесс несколько основных операций горного производства, это подготовку горных пород к выемке, непосредственно выемку и дробление. Использование технологических схем с применением карьерных комбайнов, исключает необходимость в переэкскавации больших объемов вскрышных пород в процессе разработки месторождения.

Безвзрывная технология находит все большее распространение на открытых горных работах, она имеет следующие преимущества:

- позволяет вести работы вблизи населенных пунктов;
- возможность реализации поточной технологии горных работ в полускальных породах;
- сокращение численности обслуживающего персонала;
- уменьшение потерь и разубоживания полезных ископаемых при селективной разработке сложноструктурных залежей;
- улучшение качества добываемого сырья.



### **1.3 Современное состояние исследований технологии горных работ и использования выработанных пространств известняковых карьеров**

Продукцией горнодобывающего предприятия является сырье, получаемое из основных и попутных полезных ископаемых. При этом в процессе разработке месторождений образуются техногенные ресурсы в виде выработанного пространства, отвалов горных пород, отходов обогащения. 90% площадей занимаемых горными предприятиями отводится именно под их размещение. Однако, при современном уровне экономического развития, а также при существующей технике и технологии эти ресурсы пока не востребованы. При соответствующих условиях эти ресурсы можно использовать.

В 80-х годах по инициативе академика К.Н. Трубецкого было введено новое понятие ресурсовоспроизводящие геотехнологий, включающее технологии целенаправленного создания и разработки техногенных месторождений с заданными технологическими параметрами, обеспечивающие возможность их эффективного освоения, а так же предложена классификация техногенных месторождений [20].

Исходя из мирового опыта выработанное пространство карьеров, имеет крайне ограниченное функциональное, не связанное с добычей полезного ископаемого использование.

Необходимо, чтобы формирование выработанного пространства карьера осуществлялось одновременно с добычей полезных ископаемых, при этом обеспечивается существенное сокращение времени на создание многофункциональных комплексов различного назначения и позволяет осуществлять единый технологический процесс. Однако данный подход к освоению месторождений не устраивает недропользователей, так как требует значительных инвестиций в начальный период освоения месторождения на формирование выработанного пространства, пригодного для последующего использования. Разработка месторождений полезных ископаемых должна быть комплексной на всех стадиях: проектирования, строительства, эксплуатации, и в пост эксплуатационный период.

На современном этапе производства открытых горных работ все обстоит иначе. В начальный период работы карьера недропользователь минимизирует количество вскрыши с целью получения максимальной прибыли в короткие сроки и отнесением основных затрат на будущие периоды.

Открытую разработку месторождений полезных ископаемых необходимо осуществлять таким образом, чтобы в пост эксплуатационный период выработанное карьерное пространство представляло собой техногенную выработку, которую возможно использовать в будущем, для целей жизнеобеспечения городов. На сегодняшний день все сводится к проведению рекультивационных работ, которые заключаются в выполаживании бортов карьеров, затоплении выработанного пространства или заполнению его вскрышными породами или отходами производства. Однако же на практике недропользователи оставляют выработанные пространства карьеров без проведения восстановительных работ, так как на это требуются значительные объемы вложений [21, 22].

На рисунке 1.13 представлены текущие затраты (по годам, фактически действовавших ценах) на рекультивацию нарушенных земель [23].

Ниже приведена таблица 1.3 инвестиций в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, по субъектам российской федерации в 2011 г. (в фактически действовавших ценах; миллионов рублей) [23].

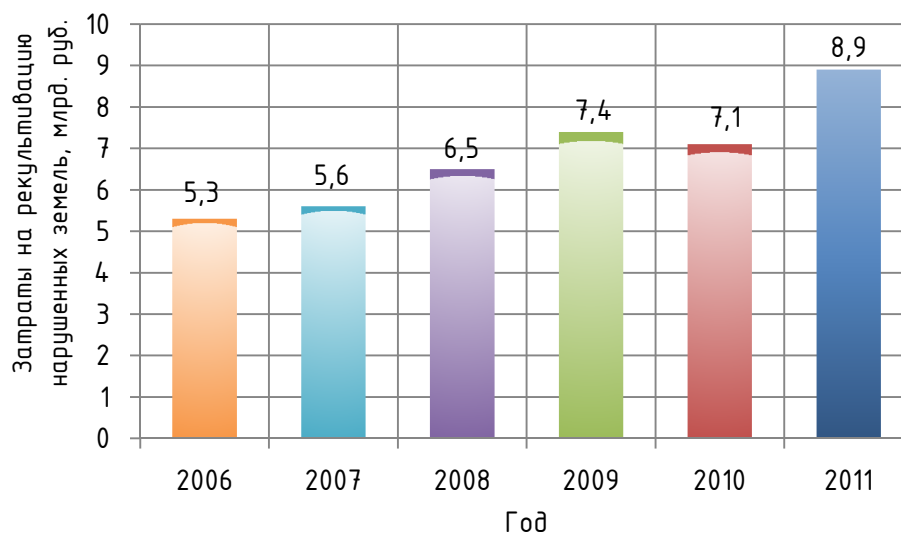


Рисунок 1.13 – Текущие затраты на рекультивацию нарушенных земель [23]

Таблица 1.3 – Инвестиции направленные на охрану окружающей среды, млн.руб.

Федеральные округа РФ	2000	2005	2007	2009	2011
Центральный	1273,0	1024,4	719,8	1021,4	479,7
Северо-Западный	384,1	1326,0	1394,8	1167,1	575,0
Южный	198,3	1475,4	3910,1	1895,2	470,4
Северо-Кавказский	-	-	-	-	935,7
Приволжский	620,6	1756,4	3767,3	2685,2	3477,0
Уральский	604,8	832,1	1444,2	1036,6	1377,2
Сибирский	363,4	1220,9	1848,4	1239,6	2258,8
Дальневосточный	75,2	1570,4	2664,5	1999,7	4211,2
<b>Российская Федерация</b>	<b>3519,5</b>	<b>9206</b>	<b>15749,2</b>	<b>11044,9</b>	<b>13785</b>

Из работы [24] следует, что карьерное пространство и отвалы вскрышных пород, сформированные заранее, можно использовать для размещения отходов различных классов опасности. Для этого необходимо на стадии проектирования карьера предусмотреть использование внутрикарьерных площадок для временного формирования внутреннего отвала (рисунок 1.14а), а также сооружение площадок примыкания в конце стационарных съездов через каждые 2-4 уступа размером, зависящим от применяемого оборудования и достаточным для создания первоначального фронта работ по отсыпке отходов (рисунок 1.14б). Каждый горизонт выработанного карьерного пространства предлагается рассматривать как карту для размещения промышленных отходов. В случаях, когда размеры карты не позволяют осуществлять безопасное размещение отходов, предлагается использовать материалы внутреннего отвала для деления горизонта на необходимое количество карт. Если разработка месторождения полезных ископаемых осуществляется при отсутствии источника промышленных отходов, но прогнозируется его появление, целесообразно вскрышные породы складировать в отвал таким образом, чтобы с минимальными затратами преобразовать их в емкости для размещения отходов введенного в эксплуатацию промышленного предприятия [24].

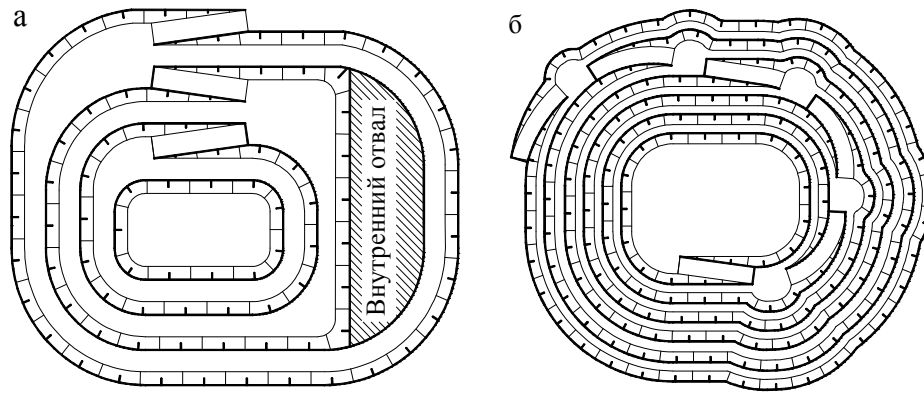


Рисунок 1.14 – Формирование карьерного пространства в виде емкостей для размещения промышленных отходов [24]

Одним из мировых лидеров строительства различных объектов в отработанных карьерах является Китай. Британские архитекторы, выигравшие конкурс на строительство самого большого в мире подземного отеля Songjiang beauty spot hotel (рисунок 1.15), предложили использовать для этих целей отработанную каменоломню глубиной 100 метров неподалеку от г. Шанхая. Площадь зеленой крыши отеля, на которой произвели посадку травы и деревьев, составляет около 3,5 тысяч квадратных метров. Под ней разместили рестораны, кафе и спортивный центр.

Большую роль в дизайне новой гостиницы играет вода. В здании предусмотрены подводные зоны для жильцов, аквариумы и водопады. Используя геотермальную энергию, отель может получать электричество, а также отапливать помещения [25].



Рисунок 1.15 – Отелино-развлекательный комплекс Songjiang beauty spot hotel г. Шанхай [25]

В 1999 году правительство Британии в рамках программы "Миллениум" задумало разбить грандиозные ботанические сады «Эдем» (рисунок 1.16), демонстрирующие глобальную связь всего живого и зависимость человека от растительного мира. На месте бывших карьеров остался довольно глубокий и обширный котлован. Подобный пейзаж – не редкость для центральной части Корнуолла. Одну из таких открытых выработок для добычи белой глины площадью в 15 га вблизи городка Сент-Остел (St.Austell) и решили превратить в земной рай. Это одно из самых популярных и посещаемых мест в Англии [26].



Рисунок 1.16 – Ботанический сад «Эдем» вблизи г. Сент-Остел [26]

Во Франции перспективным направлением рекультивации земель является использование карьерных выемок, а также оставленных подземных выработок для аккумуляции загрязненных вод. Протекая по малопроницаемым формациям, они попадают в море очищенными (такой способ очистки уже применяют в ФРГ, США, Швеции, Голландии). Побочное положительное явление этого процесса – подпитка грунтовых вод окрестных территорий, поддержание их благоприятного режима. В подходящих условиях бассейны могут быть использованы для питания подземных водных горизонтов.

В Германии в 80-х годах карьерные выемки начали использовать под водоемы многоцелевого назначения: для водоснабжения, рыбного хозяйства, орошения сельскохозяйственных угодий, пострадавших от понижения уровня грунтовых вод, отдыха людей. Созданы карьерные озера: Зенфтенбергер Зее с водной поверхностью 1200 га, которое дополнительно может вмещать 12 млн. м<sup>3</sup> паводковых вод,



озера в разрезах «Глюкауф I» и «Нимч», озеро Кнаппен Зее с водной поверхностью 338 га др. В целом, водами, собранными в отработанных карьерах, предполагается покрыть около 15% общественных потребностей в воде. Кроме того, вновь созданные водоемы со временем позволят выровнять водный баланс в нарушенном горными работами регионе.

На территории Российской Федерации есть месторождения, которые пригодные для рекреационного использования. В Свердловской области с целью сохранения природных комплексов и развития экологического и познавательного туризма создан парк «Бажовские места». Его территория занимает 40 000 гектаров лесного фонда «Сысертского лесхоза» – федерального государственного учреждения. На территории парка в 6 км от города Сысерть расположено озеро «Тальков Камень» (рисунок 1.17). Образовалось озеро после затопления водами заброшенного талькового рудника. Добыча талькового сланца проводилась здесь в последних десятилетиях XIX века. С открытием в 1927 году крупного месторождения около села Шабры добыча талька на Тальковом камне окончательно прекратилась. Постепенно карьер наполнился водой. Озеро неправильной формы, до 60-70 метров в длину. Глубина озера, согласно мемориальной доске, 32 м. На сегодняшний день «Тальков камень» место для отдыха, купания и погружений дайверов [27].



Рисунок 1.17 – Отработанный карьер «Тальков камень» [27]

Карьер «Мир» (рисунок 1.18) – один из самых больших алмазных карьеров, находится в Якутии в городе Мирный. В период с 1957 по 2001 годы в карьере

«Мир» было добыто алмазов на 17 миллиардов долларов. В условиях вечной мерзлоты трубка «Мир» достигла внушительных размеров, в диаметре около километра и глубиной 550 метров. В 2001 году добыча руды открытым способом была прекращена, так как стала неэффективной.

Российским архитектурным бюро «АБ Элис» в Санкт-Петербурге разработан проект нового типа «Экогород 2020» (рисунок 1.19) с размещением его в гигантской воронке отработанного карьера «Мир». Проектом предлагается создание первого в мире экогорода в яме, расположенного на нескольких ярусах, основанный на бетонном блоке-пробке, который станет препятствовать осыпанию карьера, и сверху накрытый энергосберегающим куполом. В городе будут свои сельскохозяйственные участки, которые обеспечат жильцов всем необходимым, а энергию планируют получать от солнца (по расчетам ученых, энергосберегающий купол над карьером поможет накопить достаточно, чтобы удовлетворять нужды города, а для отопления дополнительно может использоваться тепло Земли), дома (преимущественно для туристов), научные лаборатории и многое другое [28].



Рисунок 1.18 – Отработанный карьер алмазоносной трубки «Мир»

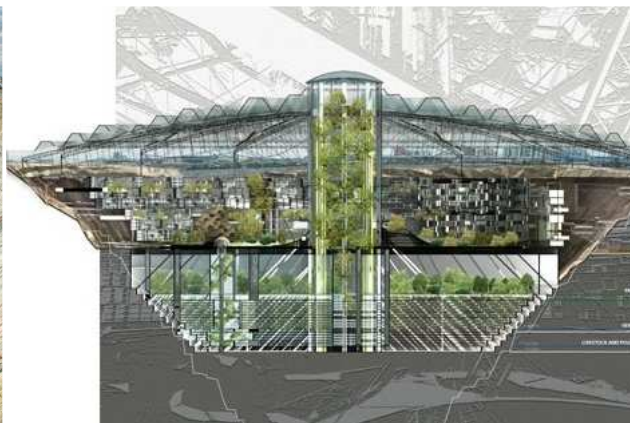


Рисунок 1.19 – Экогород в карьере трубки «Мир» [28]

К реализованным российским проектам по рациональному использованию выработанного пространства, следует отнести спортивный комплекс автомобильных видов спорта «Белый колодец» (рисунок 1.20), расположенный в 12 км от города Воронеж в меловом карьере. Он существует с 2003 года и за эти годы стал популярным местом проведения официальных соревнований всероссийского масштаба



по автомобильному спорту. Спортивный комплекс обеспечивает успешное проведение соревнований в таких дисциплинах как ралли-кросс, кросс, дрег-рейсинг, картинг, а с 2013 года – и дрифтинг, из года в год собирает спортсменов со всей страны, желающих продемонстрировать свои умения на официальных стартах [29].

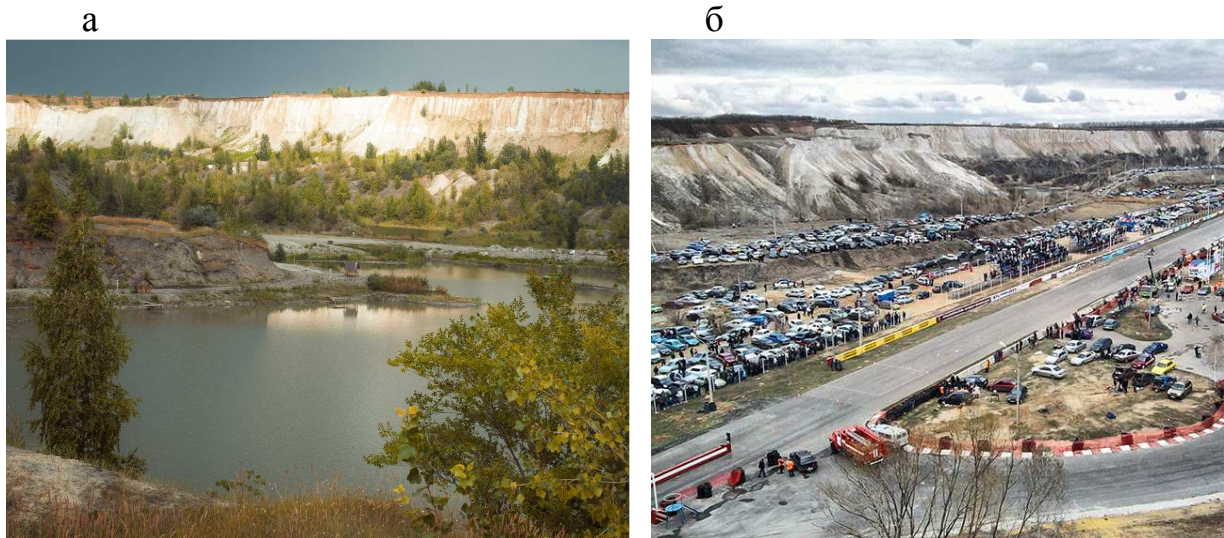


Рисунок 1.20 – Спортивный комплекс «Белый колодец» [29]: а – водоем; в – гоночная трасса

Амфитеатр Дальхалла (рисунок 1.21) расположен в бывшем известняковом карьере вблизи города Раттвика в 7 км к северу, используется в летнее время в качестве сцены для театров, концертов и опер. Добыча известняка велась до 1990 года, а в 1993 году впервые отработанный карьер превратили в театр под открытым небом: 400 метров в длину и 175 метров в ширину и около 4000 мест [30].



Рисунок 1.21 – Амфитеатр Дальхалла, Швеция [30]



Вблизи крупных городов имеют широкое распространение карьеры строительных материалов, в связи с их невысокой стоимостью добычи и транспортировки. К таким типам месторождений относятся карбонатные породы, в частности месторождения цементных и флюсовых известняков.

Карьер Сокольско-Ситовский является одним из российских лидеров по производству флюсовых известняков, применяемых главным образом в металлургической промышленности и строительстве. При неизменной глубине чаша карьера постоянно движется в направлении, по которому залегает известняк. На одной стороне карьера происходит снятие вскрыши и добыча известняка, на другой – выработанное пространство заполняется вскрышными породами, отсевом дробления известняка и черноземом.

В ряде случаев горногеологические условия определяют использование таких технологических решений по освоению месторождения, которые включают в себя мероприятия, косвенно относящиеся к ресурсосберегающим технологиям. К таким относят внутреннее отвалообразование, при таком способе отсыпки отвалов площадь отчужденных земель под горнодобывающие предприятия снижается, как на Сокольско-Ситовском карьере (рисунок 1.22).



Рисунок 1.22 – Вид карьера Сокольско-Ситовского месторождения флюсовых известняков

Еще одним примером того, что карьеры строительных материалов располагаются вблизи селитебных территорий, служит «Искитимский» карьер (рисунок 1.23), расположенный в Искитимском районе Новосибирской области в 5,5 км на

юго-восток от ст. Искитим, которым разрабатывают месторождение мраморизованного известняка. Бесспорно, что близость селитебной территории предопределяет одно из перспективных направлений, связанное с использованием выработанного пространства данного карьера для строительства объектов промышленного и гражданского назначения.



Рисунок 1.23 – Вид карьера «Искитимский»

Технологические особенности горного производства, его огромные объемы и территориальная распространенность обуславливают высокую степень вредного воздействия на окружающую природную среду. В разной степени это воздействие влияет на литосферу, воздушный и водный бассейны, животный и растительный мир, однако в совокупности оно становится одним из основных природообразующих факторов деятельности человека.

Горное производство невозможно развивать, не учитывая его техногенное воздействие на экосистему. Требования производства и экологии изначально противоречивы. Проблема состоит в том, чтобы изыскать и соблюсти разумные пропорции в этих требованиях. При этом наибольший ущерб наносится земной поверхности.

Как показывает анализ, проблема создания экологически безопасного горного производства требует решения в первую очередь задачи рационального землепользования [31]. Другие факторы техногенного воздействия вторичны и количественно менее значимы.

Показателем землепользования может служить удельная землеёмкость производства, численно равная отношению отчуждаемой площади к производительности предприятия [32]. Величина землеёмкости характеризует экономичность землепользования и позволяет количественно регламентировать отчуждаемые площади при проектировании предприятий и планировании горных работ. Землеёмкость горных работ в первую очередь зависит от размера и конфигурации горного отвода, границы которого определяются контурами запасов полезных ископаемых с учетом зон сдвижения горных пород или разноса бортов карьера.

При открытых горных работах большие земельные площади отчуждаются под отвалы пустых пород. При этом размер отчужденных земель зависят от способа отвалообразования (внутреннего или внешнего) [33, 34, 35, 36]. Однако во всех случаях за счёт площадей карьера и отвалов вскрышных пород, землеёмкость при открытых работах значительно выше, чем при подземных.

На сегодняшний день перед проектировщиками стоит проблема разработки эффективной технологии открытой разработки месторождений и изыскание путей снижения техногенного влияния горного производства [37, 38, 39, 40, 41].

До настоящего времени месторождения строительных горных пород разрабатывалось преимущественно открытым способом, что обеспечивало необходимые объемы и приемлемую цену продукции. Однако постепенно эффективность открытого способа добычи стала подвергаться сомнению, так как известно, что открытая разработка месторождений наносят гораздо больший ущерб окружающей среде, чем подземная. Особенно заметно это в гористой местности, где необратимые изменения ландшафта в результате срабатывания гор резко снижают его туристическую и рекреационную ценность. Проблема усугубляется при производстве открытых горных работ вблизи населенных пунктов и природоохранных зон.

## 1.4 Цель, задачи и методы исследований

Проведённый анализ научно-технической литературы и производственного опыта позволяет определить следующие направления использования выработанного пространства карьеров в пост эксплуатационный период разработки месторождений, а именно для гражданского и промышленного строительства.

**С учётом этого поставлена цель работы.** Обоснование технологии горных работ, обеспечивающей использование выработанных пространств известняковых карьеров для строительства.

**Идея работы.** Рациональная технология открытых горных работ должна обеспечить минимум затрат на разработку месторождения известняка и последующее использование выработанного пространства карьера в строительстве.

### **Основные задачи исследования.**

1. Проанализировать имеющийся мировой опыт по использованию выработанных пространств горнодобывающих предприятий.
2. Исследовать параметры и состояние существующих техногенных выработок, оценить возможность их использования для строительства.
3. Обосновать технологию горных работ и условия применения способов подготовки пород к выемке для создания выработанного пространства требуемого качества и заданной формы.

В работе выполнено аналитическое обобщение сведений, содержащихся в научно-технической и специальной литературе, численное моделирование и обработка его результатов с применением программных пакетов Microsoft Office Excel, а также промышленное внедрение.

## **2 АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИЗВЕСТНЯКА И ХАРАКТЕРИСТИКА ИХ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ В ВЫРАБОТАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ КАРЬЕРОВ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

### **2.1 Исследование взаимосвязи между показателями условий разработки месторождений известняка**

К параметрам и особенностям строения, влияющим на технологию разработки месторождений известняка, относят: прочность и трещиноватость пород, рельеф его поверхности, форму и размеры месторождения, мощность полезного ископаемого, угол падения, объемный вес и закарстованность.

Известняки, которые имеют промышленное значение, в большинстве своем имеют горизонтальное или пологое падение пластов (до  $10^\circ$ ), значительно реже встречаются с углом падения пласта  $30\text{--}75^\circ$ .

Мощность полезной толщи на месторождениях известняка колеблется от 20 м до 500 м. Мощность вскрышных пород в основном не превышает 10 м при коэффициенте вскрыши  $0,2 - 0,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$  и редко превышает  $1 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Рыхлая вскрыша на таких месторождениях представлена суглинками, с прослоями глин и песков.

На выбор технологии разработки месторождений оказывает влияние пространственная изменчивость прочности пород, обусловленная наличием слоев пород различной прочности.

Используя данные [1, 9, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55] построены гистограммы, которые представлены на рисунках 2.1–2.3.

Анализ гистограмм показывает, что основная часть таких месторождений имеет различные прочностные характеристики, а их объемный вес варьирует в интервале  $2\text{--}2,5 \text{ т}/\text{м}^3$ .

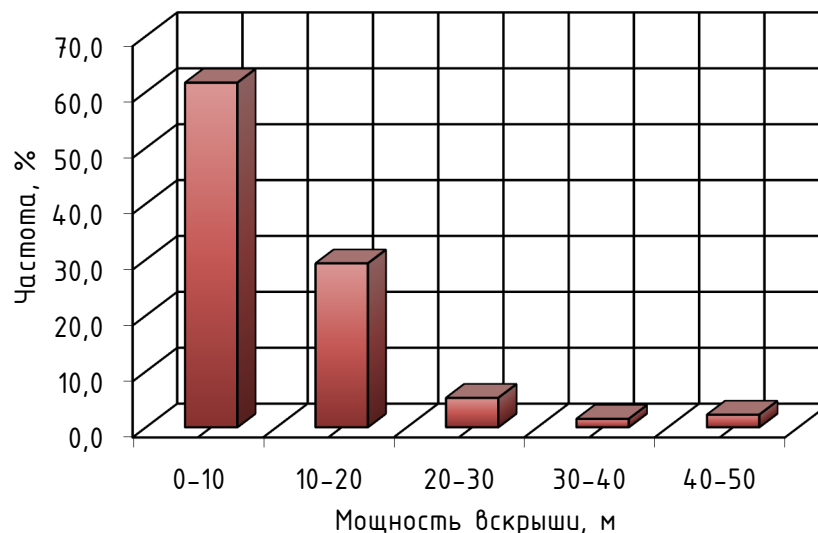


Рисунок 2.1 – Гистограмма распределения месторождений известняка по мощности вскрыши

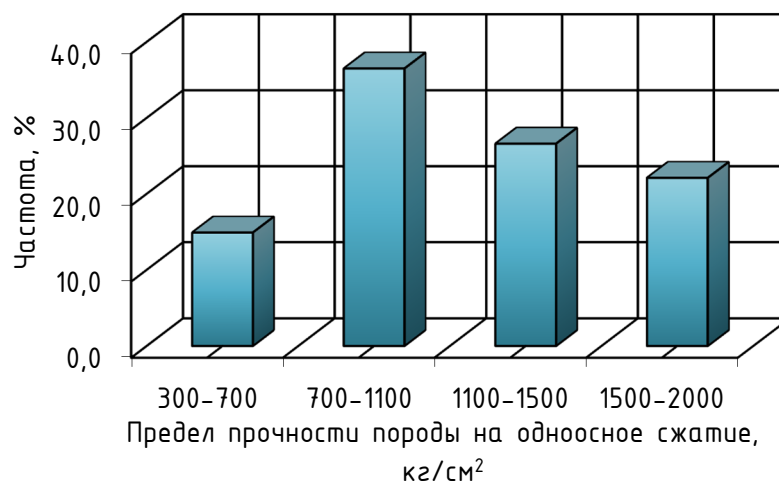


Рисунок 2.2 – Гистограмма распределения месторождений известняка по пределу прочности на одноосное сжатие

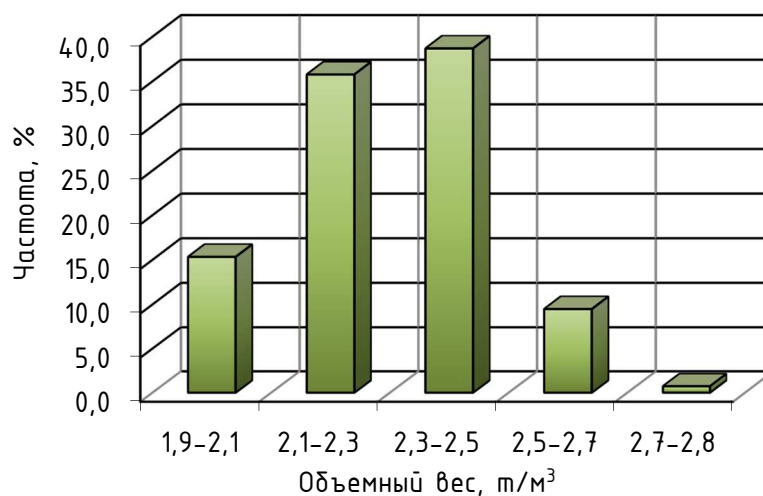


Рисунок 2.3 – Гистограмма распределения месторождений известняка по объемному весу

Также между прочностью на сжатие и объемным весом известняков установлена зависимость, показанная на рисунке 2.4. Анализ литературных данных позволил также выявить взаимозависимости различных показателей, характеризующих месторождения между собой. Соответствующие графики приведены на рисунках 2.5–2.8.

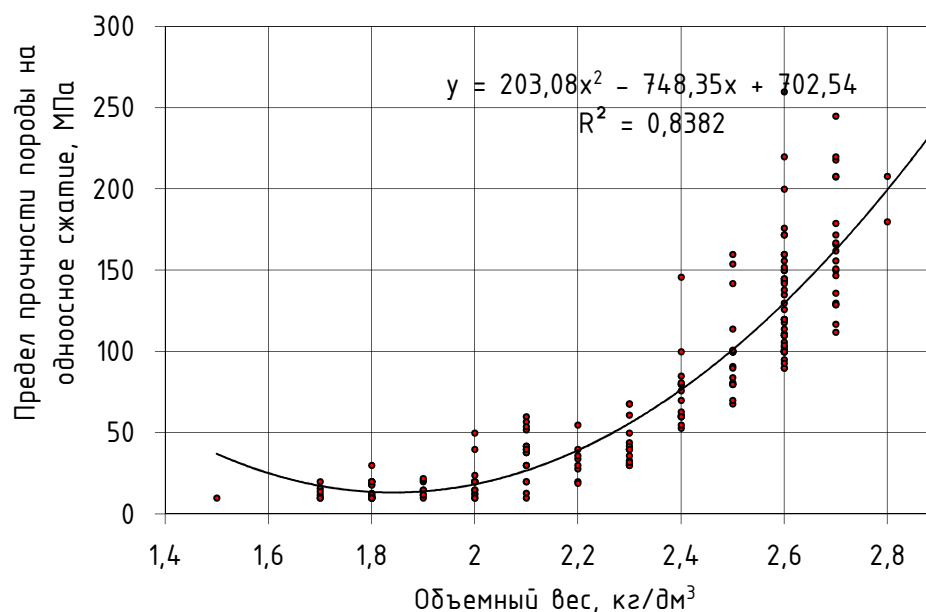


Рисунок 2.4 – Влияние объемного веса на предел прочности известняка на одноосное сжатие

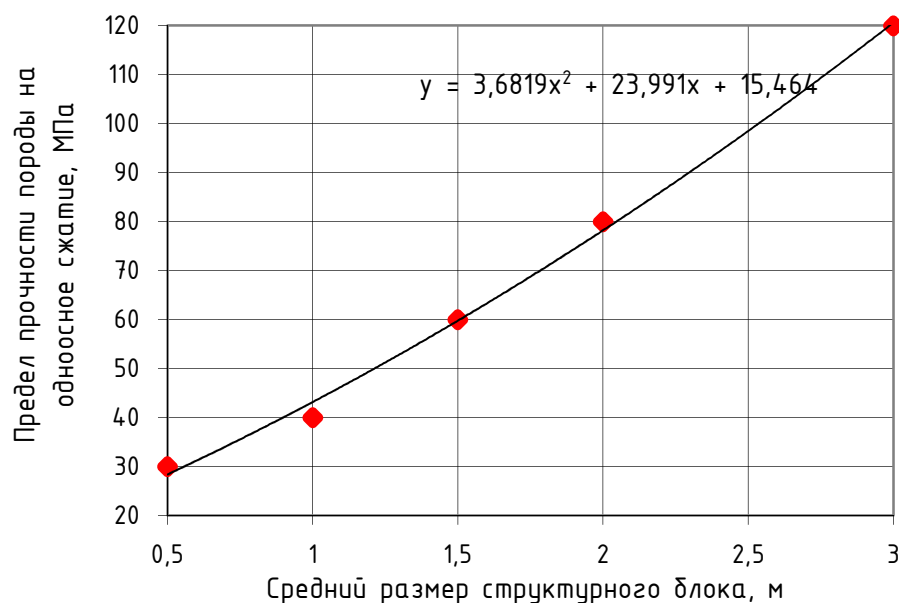


Рисунок 2.5 – Влияние размера структурного блока на предел прочности известняка на одноосное сжатие



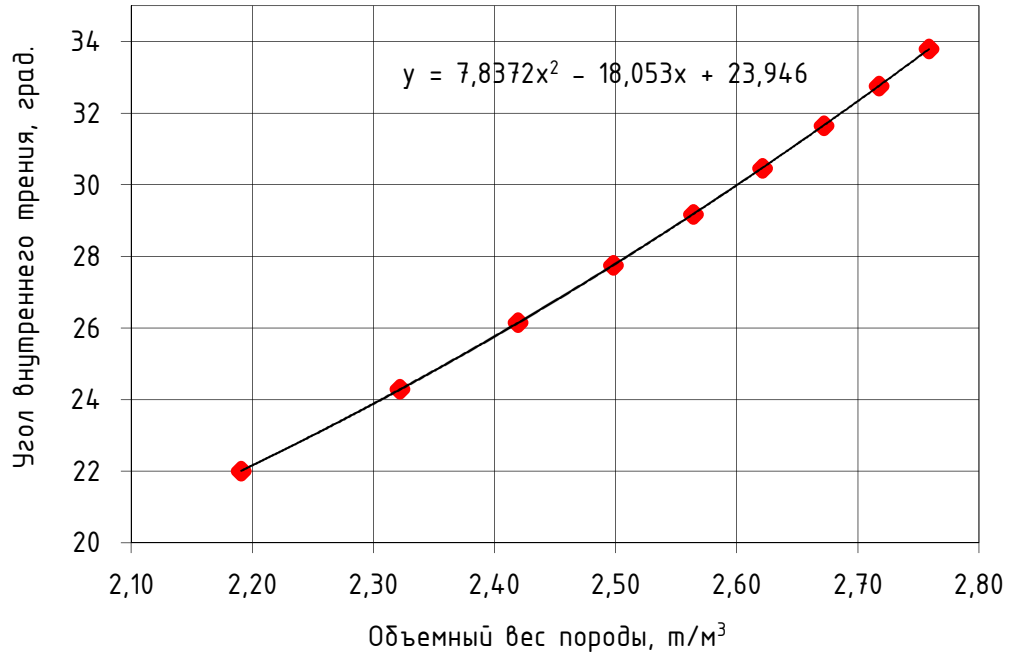


Рисунок 2.6 – Характер зависимости угла внутреннего трения от объемного веса известняка

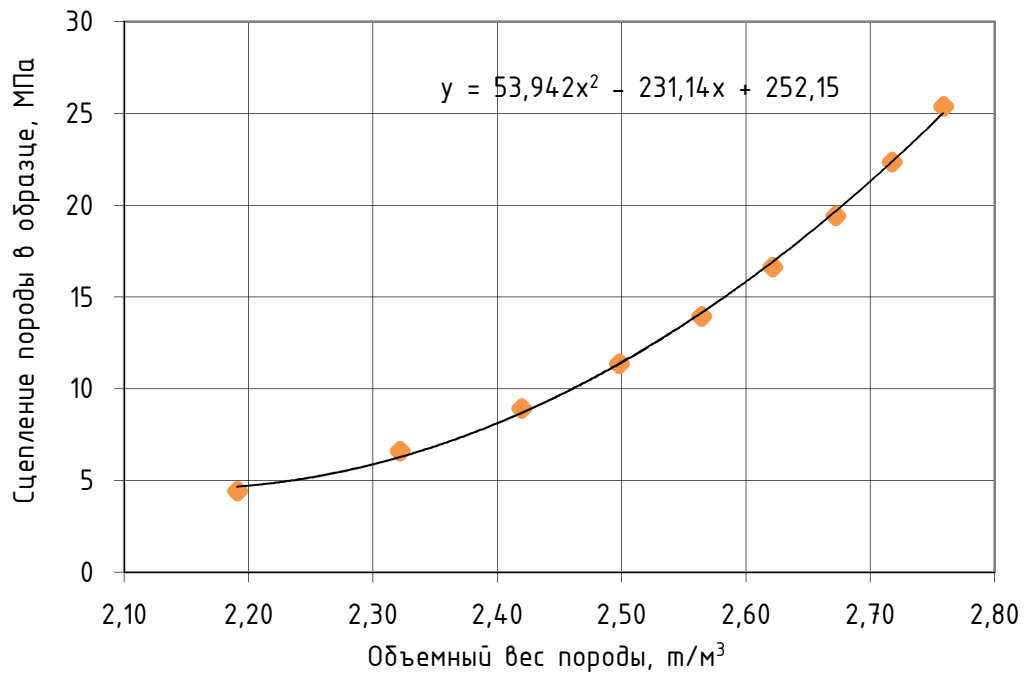


Рисунок 2.7 – Влияние объемного веса известняка на его сцепление



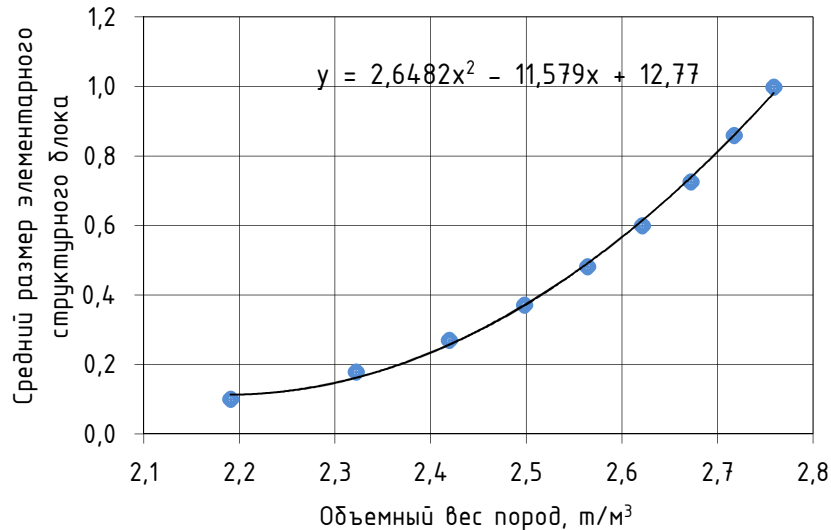


Рисунок 2.8 – Взаимосвязь размера структурного блока с объемным весом известняка

Полученные зависимости можно успешно использовать для прогнозирования некоторых показателей, характеризующих условия месторождений известняка и которые следует учитывать при выборе технологии их разработки.

## 2.2 Оценка относительной трудности разработки месторождений известняка

Для оценки месторождения известняка можно воспользоваться расчётом замыкающих затрат на производство или необходимо произвести оценку на основе сравнения качественных показателей таких как: размер, высотное положение, рельеф поверхности, строение и прочностные свойства пород, климатические условия, расположение месторождения от основного потребителя сырья, от транспортных и энергетических коммуникаций и т.п.

При оценки с учётом замыкающих затрат точность зависит от методики расчётов и полноты учета факторов, при втором же варианте оценки от квалификации эксперта. Первый вариант более объективен, но весьма трудоемок и не позволяет осуществить оперативную оценку, а второй вариант дает субъективную оценку.

Выше сказанное служит основанием для поиска интегральных показателей трудности разработки месторождения известняка.

В частности, оценку добываемости В.В. Ржевский и В.И. Истомин предлагают осуществлять по интегральному относительному показателю трудности добычи [56], вычисляемому по формуле

$$P_{\partial}=0,25 \cdot (P_{\delta} + P_{\varepsilon} + P_{\zeta} + P_{\eta}); \quad (2.1)$$

где  $P_{\delta}$ ,  $P_{\varepsilon}$ ,  $P_{\zeta}$ ,  $P_{\eta}$  – соответственно относительные показатели трудности бурения, взрывания, экскавации и транспортирования.

Названные показатели рассчитывают по общеизвестным формулам. С помощью показателя  $P_{\partial}$ , зная удельный вес отдельных видов работ, можно приближенно рассчитать величину относительного показателя трудности разработки месторождения в целом.

Дальнейшее развитие данного метода связано с разработкой аппарата для расчета показателя трудности производства горных работ и оценки эффективности их выполнения [57]. Но вследствие различия физических состояний конечной продукции применение вышеназванных методов для оценки трудности разработки месторождений облицовочного камня, учитывая специфику требований к конечной продукции карьеров блочного камня, возможно лишь после сложной их адаптации.

Открытая разработка месторождений известняка имеет свои особенности, которые влияют на работу карьеров [58, 59]. Высокий спрос на продукцию, используемую в качестве строительных материалов и флюсов, обуславливает наличие большого количества карьеров по добыче известняка.

Такие горнодобывающие предприятия сильно отличаются по производственной мощности и технологическим показателям. Иногда, для обеспечения потребностей производства необходимо вести разработку известняковых карьеров со значительной мощностью по горной массе, или же наоборот возникает необходимость в карьерах с небольшим сроком службы, и производительностью по горной массе.

Транспортабельность известняка, как правило низкая, так как ограничивается экономической целесообразностью зоны потребления продукции одного предприятия, в следствие этого известняковые карьеры в основном расположены, вблизи центров агломерации.

Широкое распространение месторождений известняка позволяет выбирать наиболее благоприятные по условиям разработки участки.

Для сопоставления месторождений известняка между собой необходимы критерии, позволяющие интегрировать показатели, характеризующие особенности

строения и расположения месторождения. Данное обстоятельство и было учтено в работах [60, 61] при обосновании показателя относительной оценки месторождений по трудности их разработки.

В результате выполненного расчёта по предложенной методике было получено следующее уравнение для расчета относительного показателя трудности разработки [60]

$$P_{mp} = 6,25 + 0,05 \cdot \sigma_{сж} + 0,04 \cdot dH + 0,15 \cdot H_г + 0,03 \cdot \alpha - 0,14 \cdot Z - 4,2 \cdot 10^{-5} \cdot H_k; \quad (2.2)$$

где  $\sigma_{сж}$  – предел прочности породы на одноосное сжатие, МПа;  $dH$  – превышение месторождения над преобладающими отметками местности, м;  $H_г$  – горизонтальная мощность вскрышных пород, м;  $\alpha$  – угол склона рельефа, град.;  $Z$  – запасы, млн.т.;  $H_k$  – горизонтальная мощность полезного ископаемого, м.

Автором работы [60] была выполнена оценка относительной трудности разработки наиболее известных месторождений и предложила соответствующую типизацию (таблица 2.1), исходя из уравнения (2.2).

Таблица 2.1 – Типизация карбонатных месторождений по трудности разработки по Назаровой Е.Ю. [60]

Класс месторождений по трудности разработки	Параметры месторождения					
	$\sigma_{сж}$ , МПа	Z, млн. т	dH, м	H <sub>к</sub> , м	$\alpha$ , град	H <sub>в</sub> , м
1. Легко разрабатываемые ( $P_{mp} = 1, 2, 3, 4, 5$ )	$\leq 50$	$\leq 2$	$\leq 50$	$\leq 50$	$\leq 10$	$\leq 5$
2. Средней трудности разработки ( $P_{mp}=6,7,8,9,10$ )	50-80	2-5	50-80	50-70	10-15	5-10
3. Трудно разрабатываемые ( $P_{mp}=11,12,13,14,15$ )	80-140	5-10	80-100	70-100	15-20	10-15
4. Очень трудно разрабатываемые ( $P_{mp}=16,17,18,19,20$ )	140-180	10-15	100-150	100-120	20-25	15-20
5. Чрезвычайно трудно разрабатываемые ( $P_{mp}=21, 22,23,24,25$ )	180-200	15-20	150-200	120-150	25-30	20-25

### **2.3 Проблемы и перспективы использования выработанных пространств известняковых карьеров в строительстве**

Выработанное пространства известняковых карьеров повторяют форму соответствующего месторождения или его части и, несомненно, является наиболее масштабным с возможностью высокоэффективного использования георесурса недр. В строительной геотехнологии под ним понимают ресурсы недр, которые на данном уровне развития производительных сил могут быть успешно использованы при создании требуемого уровня жизнеобеспечения человеческого общества [62].

Последнее время все большее внимание уделяется такой составляющей ресурсов недр как выработанные карьерные пространства. Выше рассмотрены реализованные на практике примеры использования выработанного карьерного пространства, некоторые проектные решения и современное состояние исследований по вопросу эффективного освоения ресурсов недр при разработке месторождений известняка открытым способом. Выявлено, что техногенные выработки нашли своё применение в достаточно широком перечне объектов. Заметен тот факт, что наиболее это важно для растущих городов, у которых наблюдается недостаток территории для строительства новых объектов. В этой связи выработанное карьерное пространство, расположенное в непосредственной близости с центрами агломерации, может и должно быть использовано в качестве площадок под размещение объектов при развитии инфраструктуры городов.

Главной проблемой, по мнению автора, на пути пост эксплуатационного использования техногенных горных выработок является сложность их оценки. Оценка конкретного вида ресурсов, это определение натуральных и (или) стоимостных критериев, которые учитывают эффективность инвестиций на строительство объекта и уровень удовлетворения общественных потребностей, с учетом затрат на его использование.

Натуральная оценка выражает потребительские свойства ресурса, так как учитывает количественные и качественные характеристики объекта, однако не отра-

жает отношение общества к конкретным ресурсам в данный момент времени. Принятие решений об использовании объекта по результатам натуральной оценки является достаточно сложным, в связи с тем, что она содержит большое количество несопоставимых между собой показателей.

Стоимостная оценка осуществляется вместе с натуральной оценкой и позволяет увязать в одном показателе, как характеристики объекта, так и внешние факторы, влияющие на его общественную полезность или ценность. Поэтому принятие решений по результатам стоимостной оценки является более предпочтительным. Однако, стоимостная оценка ресурсов является объективной лишь ограниченный период времени после ее установления и на ограниченной территории, для которой она была определена [63].

При принятии решений об использовании ресурсов недр используется также метод сравнения вариантов, включающий в себя формирование достаточно большого количества альтернативных вариантов использования природных ресурсов и выбор наилучшего из них. Наилучший из вариантов выбирается на основании их оценки по определенному критерию с учетом существующих ограничений. В частности, в Законе Российской Федерации «О недрах» [64] сказано, что предоставление права пользования недрами возможно по результатам проведения конкурса или аукциона. В качестве основных критериев отбора при проведении конкурса или аукциона в законе рекомендуются: научно-технический уровень программ по геологическому изучению и использованию недр, полнота извлечения полезных ископаемых, вклад в социально-экономическое развитие территории, сроки реализации соответствующих программ, эффективность природоохранных мероприятий [63].

Таким образом, возвращаясь к сложности оценки такого ресурса недр как техногенные горные выработки, ниже выделены следующие причины.

Согласно действующему налоговому законодательству Российской Федерации [65] в области амортизационной политики на момент завершения освоения месторождения остаточная стоимость зданий, строений и сооружений (в состав которых входят и техногенные горные выработки) должна быть равна нулю. Это значит, что

в процессе разработки месторождения, недропользователь, в зависимости от принадлежности имущества к амортизационной группе, линейно либо методом потонной ставки произвел отнесение всей стоимости инвестиций в строительство горнотехнических сооружений на себестоимость товарной продукции. Отсутствие остаточной стоимости производственных фондов на момент окончания освоения месторождения повышает себестоимость товарной продукции и, как правило, снижает коммерческую эффективность реализации проекта разработки в целом, так как техногенные выработки не имеют потребительской ценности и не оценены в стоимостном выражении. Поэтому, в такой ситуации можно говорить об отсутствии интереса недропользователя, в части реализации проектов разработки месторождений, создающих на пост эксплуатационной стадии общественно полезные и ценные объекты.

В действующих нормативных документах отсутствует градация, учитывающая ценность нарушенных земель и предписываемое техническими условиями направление рекультивации нарушенных земель. Представляется целесообразным для земель с высокой удельной кадастровой стоимостью (а это, как правило, земли в черте и на окраинах центров агломерации) рассмотреть варианты пост эксплуатационного использования земель нарушенных техногенными горнотехническими сооружениями в качестве общественно полезных и ценных объектов. Также стоит отметить, что приведение морфометрических параметров техногенного рельефа к требуемым параметрам для обеспечения последующей безопасной эксплуатации горнотехнических сооружений зачастую требует значительных инвестиций.

Существующие техногенные горные выработки в ряде случаев требуют значительной реконструкции для обеспечения соответствия их последующего использования в народном хозяйстве. Поэтому целесообразен стратегический подход к освоению недр земли вблизи селитебных территорий. Этот подход должен заключаться в раскрое месторождений полезных ископаемых с учётом, как условий залегания и морфологии рудных тел, так и последующего использования выработанного пространства под объект конкретного назначения, с заданными размерами. Таким образом, речь идёт об обеспечении максимально возможного соответствия

техногенных горных выработок объектам будущего капитального строительства, потенциально размещаемых в них.

Ужесточение конкурсного отбора недропользователя при выдаче лицензий на пользование недрами, в части повышения критериев научно-технического уровня программ по использованию недр, полноте извлечения полезных ископаемых, социально-экономического развития территории, эффективности природоохранных мероприятий. Причем, приоритет последующего использования горнотехнического объекта должен определяться органами региональных властей в интересах градостроительной деятельности и социальной сферы региона. Закрепления на уровне лицензионного соглашения указанных выше пунктов, и установления соответствующей ответственности за их несоблюдение (отзыв лицензии, крупные штрафы в муниципальные бюджеты и др.), позволит перевести вышеуказанную установку из категории рекомендательных в категорию обязательных к промышленной реализации.

Подводя итог изложенному, наиболее значимым “якорем” в развитии направления высокоэффективного освоения месторождений является слабая увязка интересов бизнеса, стимулов и полномочий государства, а также роли общества в решении данного вопроса. Вместе с тем, использование выработанного пространства горных предприятий расположенных вблизи селитебных территорий, в значительной степени улучшит среду обитания человека, позволит сохранить природный ландшафт и архитектурно-исторический облик городов, сгладит экологически обостренную обстановку в регионах.

Известняковые карьеры имеют, как правило, вытянутую форму в плане, а запасы на большинстве месторождений ограничены 50 млн.т. (рисунок 2.9). Объем выработанных пространств, формируемых при их разработке, может достигать сотен миллионов кубических метров (рисунок 2.10). При соответствующей производственной мощности большую часть месторождений известняка можно отработать за 10-15 лет и за это время сформировать выработанное пространство требуемой формы и качества для последующего использования в строительстве.

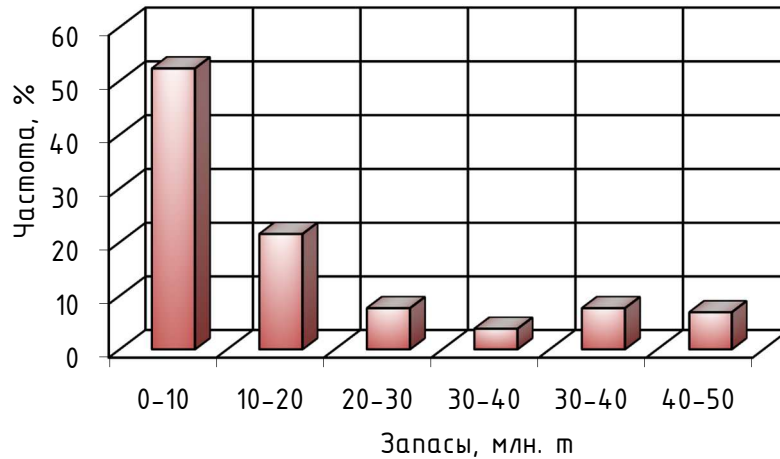


Рисунок 2.9 – Гистограмма распределения месторождений известняка по запасам

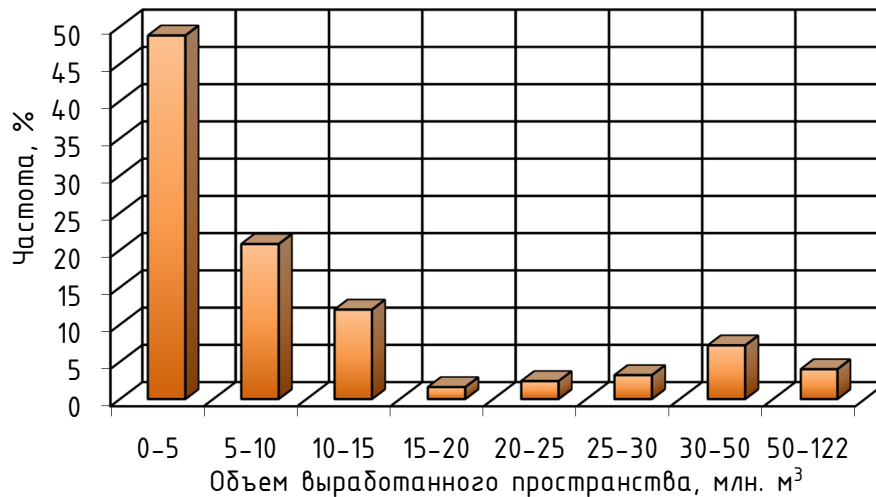


Рисунок 2.10 – Гистограмма распределения месторождений известняка по объёму выработанного пространства

## 2.4 Анализ возможности размещения в выработанном пространстве карьеров объектов промышленного и гражданского назначения

Ведение открытых горных работ, при современном уровне развития геотехнологии, обеспечивает глобальное антропогенное воздействие на природную среду. Масштабы этого воздействия могут быть отражены через коэффициент вскрыши, когда на единицу добываемого полезного ископаемого приходится до 6-8 единиц вскрышных и вмещающих пород, размещаемых на земной поверхности [24]. Как отмечается в работе [66], природоохранная деятельность отечественных горнодобывающих предприятий – малоэффективна и не обеспечивает достаточную сохранность элементов их экотопа. В свою очередь в работе [67] говорится, что в данном



аспекте речь должна идти о долговременной стратегии активного формирования среды обитания человека и экосистем со значительно более высокими «потребительскими» качествами, чем они были на исходном этапе планирования горных работ.

Горная промышленность занимает лидирующие позиции по показателю землеёмкости (га на 1 млрд. руб. капитальных вложений) среди различных отраслей народного хозяйства, уступая лишь торфяной и гидроэнергетической. В таблице 2.2 приведены укрупненные показатели землеёмкости по отдельным отраслям промышленности [68].

Таблица 2.2 – Данные об удельном потреблении земли на 1 млрд. руб. капитальных вложений<sup>1</sup>

Отрасли промышленности	Укрупненные показатели землеёмкости различных отраслей народного хозяйства в га на 1 млрд. руб. капитальных вложений	
	При строительстве новых предприятий	При реконструкции и расширении действующих предприятий
Теплоэнергетика	209,9	112,2
Гидроэнергетика	51 270,4	112,2
Топливная (без торфяной)	576,8	-
Торфяная	89 723,2	192,3
Черная металлургия (основная промплощадка)	108,9	64,1
Химическая (без горно-химической)	131,4	56,1
Горно-химическая (с карьерным хозяйством)	801,1	160,2
Нефтехимическая	112,2	32,0
Машиностроение	56,1	43,3
Деревообрабатывающая	182,7	112,2
Строительных материалов (без добывающей)	110,6	32,0
Горная (с карьерным хозяйством)	977,3	160,2
Легкая	56,1	14,4
Пищевая	112,2	33,6
Микробиологическая	81,7	76,9
Прочие отрасли*	881,2	256,4
<b>В среднем по всем отраслям</b>	<b>9 079,7</b>	<b>91,3</b>
<b>Всего по отраслям</b>	<b>145 391,6</b>	<b>1 458,0</b>

\*В них входят: автодорожные хозяйства, железные дороги, линии электропередач, предприятия аэрофлота и гражданского строительства, а также спецобъекты.

<sup>1</sup> Для перевода цен от уровня 1975 г. к ценам 2014 г. использован общепромышленный индекс СМР=160,22

Поэтому, на горной промышленности, наряду с указанными выше отраслями, лежит глобальная ответственность в сохранности элементов экосистемы.

Указанные обстоятельства свидетельствуют о том, что для повышения эффективности освоения месторождения с позиции природоохранной деятельности параметры раскрытия месторождения должны обеспечивать:

- расчетные параметры системы разработки, такие как высота уступа и суммарная длина активного фронта работ на добычных и вскрышных уступах, позволяющие обеспечить заданную производственную мощность на карьере по полезному ископаемому;
- минимальные объемы вскрышных работ;
- минимальную площадь отчуждаемых земель под горнотехнические сооружения (карьерная выемка, отвалы вскрышных пород);
- минимальное плечо откатки, как по полезному ископаемому, так и по породам вскрыши;
- возможность последующего использования в народном хозяйстве техногенных горных выработок, отвальных насыпей и иных ресурсов недр, оставшихся после освоения балансовых запасов месторождения;
- увязку параметров горнотехнических сооружений с допустимыми морфометрическими параметрами техногенного рельефа, определяемые нормативными документами (СНиПы, ГОСТы) согласно указанному направлению рекультивации по техническим условиям;
- безопасность и высокую экономическую эффективность производства горных работ.

В данном аспекте стоит обратить внимание на следующий момент. Как справедливо отмечено в работе [68], при установлении углов погашения бортов карьеров, обычно стремятся сделать их предельно крутыми (с учетом физико-механических свойств пород), поскольку это определяет минимальный средний коэффициент вскрыши. При этом существует такое мнение, что если борта карьеров стоят

без каких-либо нарушений, в том числе и локальных, то предприятие тратит лишние средства на выемку пород вскрыши, так как наиболее оптимально такое положение бортов карьеров, при котором наблюдается их частичное, локальное нарушение, что и соответствует предельному состоянию устойчивости пород. При условии же рекультивации карьеров генеральные углы погашения их бортов следует устанавливать не только исходя из критериев устойчивости пород, но и тех целевых функций, для которых подготавливается использование карьерных выемок и вскрывающих выработок после отработки месторождения. Необходимость такого методического подхода диктуется тем, что требования рекультивации с точки зрения экономики всего общества более выгодно реализовать в процессе разработки месторождения, чем после этого – в процессе подготовки отработанного поля для передачи в народное хозяйство.

Иными словами, как было сказано ранее, наблюдается противоречие интересов бизнеса и государства, при котором довольно сложно найти компромиссное решение. Вместе с тем, очевидно, что в условиях недостаточно развитой законодательной базы и высокой инерционности законодательных инициатив по указанному вопросу (в том числе и распределение финансовой нагрузки при реализации таких проектов), основной упор научных исследований направлен на поиск технических решений по использованию выработанного пространства под технологически простые объекты, например полигонов по захоронению отходов.

В этой связи рациональные параметры раскроя карьерного поля в современных условиях могут быть достигнуты:

- на карьерах, выработанное пространство которого имеет правильные, близкие к линейным формы, для размещения объектов городской инфраструктуры;
- на карьерах с высоким значением угла наклона борта в предельном положении и низким значением площади нарушенных земель (внутреннее отвалообразование, снижение объемов вскрыши);
- активная позиция региональных властей по реализации проектов, в основе которых лежит использование малоотходных и ресурсосберегающих технологических решений.

В многочисленных работах посвященных использованию подземного выработанного пространства приводятся направления последующего его функционального использования. Так в работе [69] приводится обобщенная структурная классификация направлений использования выработанного подземного пространства таблица 2.3, её возможно применять и для карьерных выработок, оставленных после производства открытых горных работ.

Таблица 2.3 – Классификация направлений использования выработанного пространства [69]

<b><u>1 Производство:</u></b>	
<b><u>1.1 Промышленное производство</u></b> энергетические объекты (подземные гидроэлектростанции; подземные атомные электростанции); предприятия высокоточного производства; экологически вредные и опасные производства; военные заводы и фабрики; прочие предприятия	<b><u>1.2 Производство сельскохозяйственной продукции</u></b> птицеводство; парниковые хозяйства (теплицы, оранжереи, грибницы)
<b><u>2 Переработка:</u></b>	
<b><u>2.1 Переработка отходов</u></b>	<b><u>2.2 Очистные сооружения</u></b>
<b><u>2.3 Предприятия горного производства (обогатительные фабрики, перерабатывающие комплексы)</u></b>	
<b><u>3 Хранение:</u></b>	
<b><u>3.1 Подземные аккумуляторы энергии</u></b> потенциальной энергии (носитель энергии: вода, сжатый газ); тепловой энергии (носитель: вода);	<b><u>3.2 Хранилища пресной воды;</u></b>
<b><u>3.3 Хранилища углеводородов</u></b> жидких; газообразных (в нормальных условиях, сжатый газ, сжиженный газ (изотермические хранилища)).	<b><u>3.4 Склады</u></b> склады сельскохозяйственной продукции (зернохранилища, фрукто-хранилища, овощехранилища, винохранилища); холодильники; специальные хранилища (А. хранилища и могильники отходов: горного производства, радиоактивных отходов, токсичных отходов; Б. хранилища ценной документации культурных и финансовых ценностей); промышленные склады
<b><u>4 Коммуникации:</u></b>	
<b><u>4.1 Пешеходные и транспортные тоннели</u></b>	<b><u>4.2 Метрополитены</u></b>
<b><u>4.3 Объекты инженерного оборудования и связи (канализация и другие коммуникации)</u></b>	
<b><u>5 Специальные объекты:</u></b>	
<b><u>5.1 Лечебницы и курорты</u></b>	<b><u>5.2 Военные стратегические объекты (в том числе военные склады)</u></b>
<b><u>5.3 Сооружения гражданской обороны (можно совместить с объектами другого назначения)</u></b>	

Ввиду этого, при освоении георесурсов вблизи центров агломерации в современных условиях, на передний план абсолютно обоснованно выходят новые критерии эффективности производства, которые, несомненно, должны находить свое отражение в используемых технологических решениях при освоении месторождений, главным образом известняка.

С определенной адаптацией, вышеназванные объекты строительства можно успешно размещать в выработанных пространствах карьеров. В частности, создавая условия для многоэтажного размещения предприятия различного назначения при условии, что нерабочие борта карьеров будут выполнять несущую функцию, с возможностью размещения в них зданий и сооружений, а качество их поверхности соответствовало функциональному назначению объектов строительства.

## 2.5 Выводы

2.5.1 Условия разработки месторождений известняка наиболее полно характеризуются трещиноватостью массива, показателями прочности и объемного веса, а также запасами месторождения и его размерами, мощностью вскрышных пород и рельефом поверхности. Указанные показатели взаимосвязаны между собой и оказывают влияние на относительную трудность разработки месторождений известняка.

2.5.2 Выработанное пространства известняковых карьеров повторяют форму соответствующего месторождения или его части и, несомненно, является наиболее масштабным с возможностью высокоэффективного использования георесурса недр.

2.5.3 В настоящее время техногенные выработки нашли своё применение в достаточно широком перечне объектов, особенно это заметно для растущих городов, у которых наблюдается недостаток территории для строительства новых объектов. Поэтому выработанное карьерное пространство, расположенное в непосредственной близости с селитебными территориями, должно быть использовано в качестве площадок для размещения объектов инфраструктуры городов.

2.5.4 Главной проблемой, на пути пост эксплуатационного использования техногенных горных выработок является сложность их оценки с учетом их потребительских свойств. При этом, в любом случае должно обеспечиваться максимально возможное соответствие техногенных горных выработок объектам будущего капитального строительства, потенциально размещаемых в них.

2.5.5 Анализ площадей для размещения различных зданий и сооружений свидетельствует о том, что выработанные пространства известняковых карьеров могут быть успешно использованы для их строительства.

### **3 МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИЗВЕСТНЯКА**

#### **3.1 Основные принципы оценки эффективности технологии разработки месторождений известняка и формирования выработанного пространства**

Карьер представляет собой некоторый объем, заключенный между двумя топографическими поверхностями. Одна из них - поверхность участка земли, а другая возникает при производстве открытых горных работ на нем [70, 71]. При их выполнении задействуется широкий спектр материальных, энергетических и трудовых ресурсов, а также средств механизации. Ежегодные расходы на их производство исчисляются миллиардами рублей.

Это предопределяет стремление недропользователя оптимизировать затраты на освоение месторождения и последующее использование выработанного пространства. Однако карьер, как объект управления, является сложной стохастической системой, а достоверность решений во многом зависит от качества исходных данных. В этих условиях процесс оптимизации решений по освоению месторождения является задачей, которая носит перманентный характер. Кроме того, говорить об оптимуме решения таких задач, также представляется не совсем верным. Ведь, любой комплекс горнотехнических и технологических решений, позволяющих осуществить промышленное освоение месторождения, является по своей сути компромиссным, по аспектам технологическому, экологическому, экономическому и аспекту промышленной безопасности. Указанные обстоятельства свидетельствуют о необходимости поиска именно области или интервала рациональных или наиболее приемлемых решений, применительно к конкретным горнотехническим и горно-геологическим условиям разработки. Поэтому решение горнотехнических задач, в большинстве своем, выполняется методом вариантов. При использовании этого метода рассматривают альтернативные варианты комплексов горнотехнических и технологических решений, позволяющих отработать балансовые запасы месторождения, а предпочтение одному из них, как наиболее полно отвечающему установленным критериям оценки.

Доминирующее большинство горнотехнических задач по оценке рациональных параметров разработки месторождений являются динамическими. Динамические оптимизационные горно-экономические задачи характеризуются следующими признаками [72]:

- длительный период оценки (до 20 лет и более);
- неравномерность годовых объемов работ, затрат, стоимости товарной продукции и прибыли предприятия;
- разновременность затрат на добычные и вскрышные работы из-за опережения последних над первыми;
- необходимость вложения инвестиций не только в период строительства карьера, но и в период эксплуатации;
- постоянное изменение технико-экономических показателей во времени и возрастание погрешности исходных данных с увеличением периода оценки.

Решение оптимизационных задач можно разделить на ряд этапов.

На первом этапе анализируют условия задачи, обосновывают критерии ее решения оценки и четко формулируют цель.

На втором этапе в результате выполнения технологических расчетов составляют для каждого варианта календарные планы горных работ, графики монтажа и ввода в эксплуатацию оборудования и др. Формируют календарные таблицы потребления и создания всех ресурсов, выполнения всех видов работ, определяющих величину ежегодных затрат и доходов.

На третьем этапе для каждого варианта производят расчет потока денег - ежегодного притока и оттока финансов, на основании которого на четвертом этапе оценивают экономическую эффективность проектных решений.

На заключительном этапе формируют сводные таблицы с абсолютными и относительными значениями основных исходных данных, промежуточных и конечных результатов по каждому варианту, графики и диаграммы. Анализ этих материалов позволяет принять окончательное решение по выбору рационального варианта.



Вместе с тем рассмотрение вопросов по оценке рациональных параметров разработки месторождений известняка с позиции ресурсосбережения, а получаемых в результате освоения месторождения техногенных горных выработок с позиции ресурса имеющего конкретную общественную ценность, необходимо проводить с учетом следующих особенностей:

– техногенными ресурсами пост эксплуатационного периода освоения месторождения можно считать выработанное пространство карьерного поля и иные горно-капитальные выработки (открытого и подземного типа), отвалы вскрышных пород, склады потенциально-плодородных пород и плодородно-растительного слоя, земли непосредственно примыкающие к указанным сооружениям с сохраненным природным ландшафтом. Перечисленные ресурсы могут быть как технологическими – необходимыми для осуществления разработки месторождения, так и специальными (коммерческими) – дополнительно созданными и обеспечивающими повышение рыночной привлекательности объекта;

– вышеуказанные ресурсы могут быть оценены как в натуральной ( $m^3$ ,  $m^2$ ), так и в стоимостной (руб/ $m^3$ , руб/ $m^2$ ) формах. При этом необходимо понимать, что в интегрально определенном эффекте дифференцированно участвуют различные техногенные ресурсы имеющие различную рыночную стоимостную оценку;

– допустимые затраты на создание техногенных ресурсов лимитируются рыночной стоимостью этих ресурсов, которая в свою очередь зависит от качественных особенностей этого ресурса, его количественного выражения и территориальной принадлежности;

– отсутствие стимулов для недропользователя и бизнеса эксплуатирующего техногенные ресурсы. Так, бизнес не готов инвестировать капитал на стадии эксплуатации месторождения ввиду длительного замораживания денежных средств. В свою очередь, недропользователь также стремится перенести инвестиции в создание таких ресурсов на стадию завершения инвестиционного проекта, для увеличения оборачиваемости капитала, а также осуществление строительства за счет собственных средств, а не заемных (так называемые «дешевые деньги»);

– недропользователь при создании техногенных ресурсов не несет в полном объеме затраты на рекультивацию земель, а, следовательно, улучшаются результаты операционной деятельности;

– недропользователь, инвестируя в создание техногенного ресурса (выработка и т.д.) не являющегося технологическим (т.е. инвестиции в специальные коммерческие выработки) сокращает налоговую нагрузку на свой капитал. Это достигается тем, что данные инвестиции не участвуют в операционной деятельности хозяйственной структуры, а следовательно не облагаются налогами, являясь объектами незавершенного строительства. Данные объекты подлежат налогообложению лишь в период их рыночной реализации (налог с продаж), ставка которого существенно ниже и зависит от регистрационной формы собственности юридического лица и используемой системы налогообложения;

– чистая маржа за оцениваемый период от реализации техногенного ресурса должна быть соразмерной альтернативным вариантам инвестирования капитала.

Помимо указанных обстоятельств, стоит обратить внимание на то, что методический подход по оценке рациональных параметров разработки с позиции ресурсосбережения должен быть основан не на доказательстве эффективности создания техногенных ресурсов в процессе производства горных работ, а на решении вопроса выбора наиболее целесообразного направления последующего использования техногенных ресурсов. Множеством исследований, в том числе в работе [60], а также примерами, нашедшими практическую реализацию [24, 25, 26, 27, 28, 29, 30], уже неоднократно доказана указанная эффективность применительно к конкретным условиям разработки.

Учитывая указанные обстоятельства, автор считает целесообразным выделить следующий методический подход к оценке рациональных параметров разработки месторождения с позиции последующего использования техногенных ресурсов недр. Указанный подход структурирован в алгоритм действий недропользователя и представлен ниже.

1. Выполнение рыночного аудита на стадии проектирования разработки месторождения по вопросам удельной стоимости техногенных ресурсов недр ( $C_i$ ,

руб/м<sup>3</sup> или руб/м<sup>2</sup>), применительно к качественным особенностям последних. К качественным особенностям можно отнести следующее:

- удаленность объекта от развитой инфраструктуры, центра агломерации;
- наличие транспортного сообщения между ними;
- топография земной поверхности, морфометрические особенности техногенного рельефа, объемные параметры горных выработок;
- климатическая характеристика района (температура, ветровая нагрузка, влажность и т.д.);
- флора, фауна, пейзаж окрестностей, наличие и характеристика смежных к границам участка объектов и др;
- физико-механические свойства вмещающих пород, гранулометрический, структурный и химический составы потенциально-плодородных пород и плодородно-растительного слоя.

2. Выполнение технико-экономических расчетов по освоению месторождения с позиции минимума затрат на отработку балансовых запасов месторождения с учетом обеспечения выполнения действующих законов и иных нормативно-правовых документов распространяющихся на указанную отрасль промышленности. При выполнении расчетов должны быть учтены расходы на восстановление нарушенных земель (рекультивацию) согласно полученных технических условий. Расчеты выполняются путем калькуляции доходной и расходной частей в период строительства и осуществления операционной деятельности.

3. Оценка наилучшего варианта разработки месторождения с позиции рационального использования недр выполняется в следующей последовательности:

3.1 Выполнить количественную оценку создаваемых в результате освоения месторождения техногенных ресурсов ( $V_i$ , м<sup>3</sup> или м<sup>2</sup>), таких как: выработанное карьерное пространство, горно-капитальные выработки, отвалы вскрышных пород, склады потенциально-плодородных пород и плодородно-растительного слоя, площадь земель с сохраненным природным ландшафтом.

3.2 Определить суммарную извлекаемую ценность ( $C_u$ , руб) от реализации техногенных ресурсов по рыночной стоимости, с учетом их качественных характеристик.

$$C_u = \sum_{i=1}^n (V_i \times C_i); \quad (3.1)$$

где  $n$  – общее число создаваемых техногенных ресурсов.

3.3 Оценить возможность дополнительного строительства специальных (иными словами коммерческих) выработок, которые могут обеспечить повышение рыночной привлекательности техногенного комплекса в целом. Оценка должна быть выполнена с учетом создания различных вариантов техногенных ресурсов, для каждого из которых строится график (рисунок 3.1) изменения извлекаемой ценности коммерческих техногенных ресурсов ( $C_u^k$ ) от объема дополнительных инвестиций в их строительство ( $\Delta K$ ).

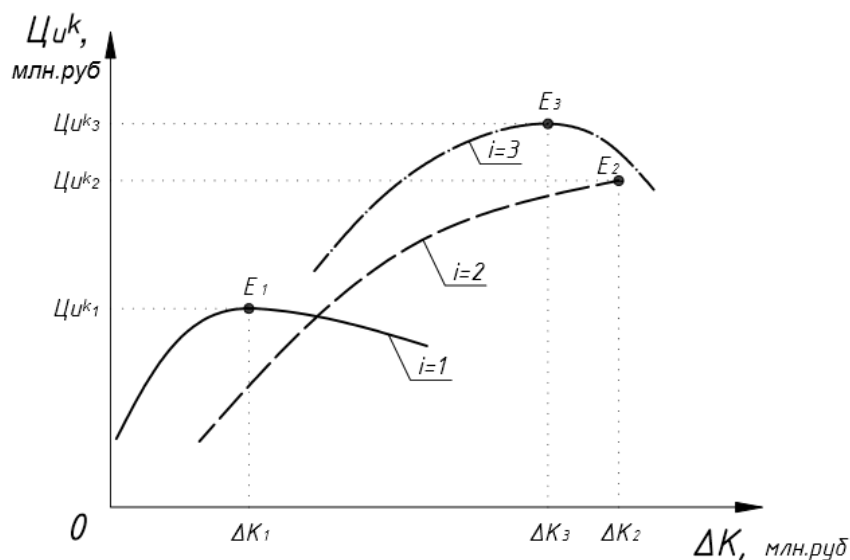


Рисунок 3.1 – Пример оценки изменения извлекаемой ценности коммерческих техногенных ресурсов ( $C_u^k$ ) от объема дополнительных инвестиций в их строительство ( $\Delta K$ )

Далее определяется экстремум функции извлекаемой ценности ( $E_1, \dots, E_n$ ) каждого из техногенных ресурсов ( $i=1, \dots, i=n$ ), достигаемый в заданном интервале дополнительных инвестиций. Максимальная граница интервала  $\Delta K$  соответствует потенциальным финансовым возможностям недропользователя. Эффективность дополнительного создания того или иного вида техногенных ресурсов оценивается отнесением абсолютных значений извлекаемой

ценности и инвестиций в строительство достигаемых в точке экстремума, например  $\frac{\Pi_{и1}^k}{\Delta K_1}$ . Ресурс, при создании которого достигается максимальное значение указанного отношения, является оптимальным с точки зрения инвестора. Выигравший вариант подвергается сравнению с альтернативными вариантами вложения капитала в условиях рыночной экономики.

3.4 Выполнение технико-экономических расчетов по освоению месторождения, путем калькуляции доходной и расходной частей. В доходной части дополнительно учитываются поступления от реализации техногенных ресурсов за вычетом налога с продаж, а в расходной дополнительные инвестиции на создание дополнительных коммерческих выработок, в случае если они имеются.

4. Критерием экономической оценки эффективности освоения месторождения может являться простая норма прибыли, ввиду корректности оценки длительных инвестиционных проектов, а также сопоставимых по времени этапам инвестирования. По ней оценивают сравниваемые варианты освоения месторождения и делают взвешенный вывод о экономической целесообразности разработки месторождения с позиции рационального использования недр как на стадии отработки запасов так и после неё.

Предложенный принцип не противоречит действующей законодательной базе и иным нормативно-правовым актам Российской Федерации. Переход права собственности на имущественные объекты будет произведен на основании договора купли-продажи, а арендуемых земель на которых они расположены, на основании нового договора аренды. Причем, согласно ст. 271 Гражданского Кодекса РФ владелец зданий (строений или сооружений), находящихся на арендованном участке, имеет преимущество при аренде или приобретении в собственность этого земельного участка.

Указанный алгоритм, которого должен придерживаться недропользователь, позволяет выполнить количественную оценку рациональных параметров разработки месторождений с позиции рационального использования недр, безопасности и экономической эффективности производства в целом.

### 3.2 Экономические критерии для оценки технологии разработки месторождений известняка и формирования выработанного пространства

Технология разработки месторождений существенно влияет на технико-экономические, экологические, социальные и другие показатели работы горнодобывающего предприятия.

Широкое распространение получили рекомендации основные на принципах сложившихся в мировой практике подходов к оценке эффективности инвестиционных проектов, а именно «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов ...» [73]. Они содержат систему показателей, критериев и методов оценки эффективности инвестиционных проектов в процессе их разработки и реализации, применяемых на всех уровнях управления.

При расчетах экономической эффективности измеряют результаты и затраты во времени, то есть количественно оценивают фактор времени и выражают его в денежной форме. Для этого прибегают к дисконтированию всех затрат и поступлений, при этом ежегодные затраты и доходы умножают на дисконтирующий множитель (коэффициент приведения).

Срок оценки обычно равен сроку разработки месторождения. Однако при длительном сроке отработки длительность периода оценки принимают не более 20 лет. В рассматриваемом периоде момент оценки или начальный год может быть любым, но обязательно одинаковым для всех сравниваемых вариантов.

Существенное влияние на результаты экономической оценки оказывает норма дисконта ( $E_n$ ). Смысл этого показателя заключается в измерении темпа снижения ценности денежных ресурсов с течением времени. Её определяют, исходя из депозитного процента по долгосрочным вкладам с некоторым увеличением за счет инфляции и риска.

Для экономической оценки оптимизационных проектов и плановых затрат используют четыре критерия:

- чистый дисконтированный доход (ЧДД);
- индекс доходности (ИД);

- внутренняя норма доходности (*ВНД*);
- срок окупаемости инвестиций (или дисконтированных инвестиций).

Характерной особенностью поименованных показателей является возможность с их помощью интегрально оценивать эффективность рассматриваемого инвестиционного проекта за весь инвестиционный цикл, включающий и период производства затрат, и период эксплуатации созданных средств труда [72].

Показатель *ЧДД* или по другому *NPV (net present value)* – представляет собой интегральную сумму годовых чистых доходов за принятый к расчёту инвестиционный календарный период, приведённую к текущему моменту времени.

При оценке сравнительной эффективности с позиции предприятия он может быть определён следующим образом:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T (P_t + A_t - C_t - H_t - I_{\text{пр.т}} - K_t) \cdot \frac{1}{(1+E_n)^{(t-1)}}; \quad (3.2)$$

где  $P_t$  – стоимость реализованной продукции, услуг и прочей реализации в  $t$ -м году периода учёта эффекта  $T$ , руб;  $A_t$  – величина амортизационных отчислений в  $t$ -м году, руб;  $C_t$  – издержки предприятия на выпуск продукции в  $t$ -м году, с учётом отчислений на социальные нужды, но без учёта платы за кредит, руб;  $H_t$  – налоги и обязательные отчисления из прибыли в  $t$ -м году, руб;  $I_{\text{пр.т}}$  – прочие издержки предприятия в  $t$ -м году, производимые за счёт чистой прибыли, руб;  $K_t$  – капитальные вложения в  $t$ -м году периода учёта эффективности проекта, включая ассигнования в оборотные средства, руб;  $E_n$  – среднеотраслевая норма дисконта.

В случае положительного значения (или даже нулевого) реализация рассматриваемого варианта инвестиционного проекта считается целесообразной. Это означает, что капиталовложения, затраченные на его реализацию, окупятся за счёт получаемого эффекта в процессе эксплуатационной деятельности созданного объекта.

Показателем *ВНД* называется такое положительное значение нормы дисконта, при котором величина чистого дисконтированного дохода будет равна нулю. Расчёт величины *ВНД* многостадийный. Вначале по рассматриваемому инвестиционному проекту определяется величина *ЧДД* при принятой к расчёту величине

нормы дисконта. В случае положительной величины  $ЧДД$  расчёт повторяется при увеличенной норме дисконта. Повторные расчёты производятся до того значения нормы дисконта, при котором чистый дисконтированный доход будет равен нулю. Эта норма дисконта и определит величину  $ВНД$ .

В общем случае сроком окупаемости инвестиционных затрат называется минимальный период времени с момента ассигнования денежных средств для реализации конкретного инвестиционного проекта до момента их окупаемости за счёт прибыли, полученной в результате эксплуатации созданного за счёт этих средств производственного объекта.

Срок окупаемости ( $T_{ок}$ ) может быть простым, определяемым сопоставлением номинальных значений затрат и получаемого экономического эффекта, и дисконтированным – с учётом календарной разновременности анализируемых затрат и получаемых эффектов.

Срок окупаемости может определяться на всю сумму необходимых инвестиций либо только на величину получаемого кредита, либо на величину собственного вложенного капитала предпринимателя (акционерного общества).

При оценке экономической эффективности инвестиционных проектов срок окупаемости, как правило, выступает в качестве ограничения.

В свою очередь, показатель  $ИД$  определяет соотношение величины получаемого интегрального дисконтированного эффекта с интегральной величиной дисконтированных затрат, обеспечивающих получение этого эффекта. При положительной величине  $ЧДД$  величина индекса доходности больше единицы и наоборот.

Практические расчеты критериев удобнее вести в табличной форме. Притоки и оттоки денежных средств могут быть определены приближений на основе удельных стоимостных показателей или детально, путем составления смет и калькуляций.

Данные показатели при соответствующей адаптации и наполнении можно успешно использовать для решения задач, связанных с обоснованием технологии



разработки месторождений известняка при формировании выработанных пространств требуемой формы и качеством для использования в строительстве.

### 3.3 Методика расчета основных технико-экономических показателей технологии разработки месторождений известняка

Капитальные затраты определяют, как сумму средств, необходимых для строительства и оснащения оборудованием инвестируемых объектов, расходов на подготовку к капитальному строительству и приросту оборотных средств, необходимых для нормального функционирования горнодобывающего предприятия [74].

Рассчитать капитальные затраты укрупненно можно следующим образом [74]

$$K = (K_{пр} + K_{скр} + K_{о.п} + K_{в.п} + K_з + K_n + K_{ж.к}) \cdot k_1 \cdot k_2, \text{ руб.}; \quad (3.3)$$

где  $K_{пр}$ ,  $K_{скр}$ ,  $K_{о.п}$ ,  $K_{в.п}$ ,  $K_з$ ,  $K_n$ ,  $K_{ж.к}$  – затраты соответственно на проектно-конструкторские и горно-капитальные работы, на объекты основного производственного и вспомогательного назначения, на изымаемые земли, на единовременный арендный взнос за право пользования недрами, на жилищно-культурное строительство, руб.;  $k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты, отражающие неучтенные и затраты на прочие работы.

Сумму годовых эксплуатационных затрат по карьере вычисляют по формуле

$$C_э = (C_{г.к} + C_{о.п} + C_{в.п} + C_{упр} + C_{пр}) \cdot K_{проч}, \text{ руб.}; \quad (3.4)$$

где  $C_{г.к}$ ,  $C_{о.п}$ ,  $C_{в.п}$ ,  $C_{упр}$ ,  $C_{пр}$  – соответственно затраты на амортизацию горно-капитальных работ, затраты по основным процессам, то же, по вспомогательным и обслуживающим процессам, на содержание участкового и административно-управленческого персонала карьера, прочие затраты в целом по карьере, руб.;  $K_{проч}$  – коэффициент, учитывающий неотмеченные затраты ( $K_{проч} = 1,1$ ).

Эксплуатационные затраты следует определять так же как и капитальные по вскрышным и добычным работам.

Годовые эксплуатационные затраты на вскрышные работы состоят:

$$C_{вск} = C_{бур} + C_{взр} + C_{экс} + C_{отв} + C_{б} + C_{тр} + C_{рек}, \text{ руб.}; \quad (3.5)$$

где  $C_{\text{бур}}, C_{\text{взр}}, C_{\text{экс}}, C_{\text{отв}}, C_{\text{б}}, C_{\text{тр}}, C_{\text{рек}}$  – соответственно затраты на буровые работы, на взрывные работы, на выемку и отвалообразование, то же, по бульдозерам, на транспортирование вскрыши, на рекультивационные работы, руб.

Годовые эксплуатационные затраты на добычные работы определяют исходя из выражения:

$$C_{\text{доб}} = C'_{\text{бур}} + C'_{\text{взр}} + C'_{\text{экс}} + C'_{\text{тр}}, \text{ руб.}; \quad (3.6)$$

где  $C'_{\text{бур}}, C'_{\text{взр}}, C'_{\text{экс}}, C'_{\text{тр}}$  – соответственно затраты на буровые, взрывные работы, выемку и транспортирование полезного ископаемого, руб.

### 3.4 Выводы

3.4.1 На основе анализа особенностей технологии разработки и её экономической оценки обоснован методический подход к оценке рациональных параметров разработки месторождения известняка с позиции последующего использования техногенных ресурсов недр, который структурирован в алгоритм действия недропользователя и позволяющий выполнить технико-экономическую оценку освоения месторождения.

3.4.2 Техничко-экономическая оценка освоения месторождения должна включать:

- рыночный аудит удельной стоимости техногенных ресурсов недр с учетом их качественных особенностей;

- выполнение технико-экономических расчетов по освоению месторождения и с учетом расходов на восстановление нарушенных земель;

- оценка наилучшего варианта разработки месторождения с позиции рационального использования недр и последующего использования выработанного пространства, как экстремум функции извлекаемой ценности, достигаемый в заданном интервале дополнительных инвестиций.

3.4.3 Предложенный алгоритм оценки позволит недропользователю на стадии проектирования или эксплуатации выполнить количественную оценку технологии разработки месторождения с позиции рационального использования недр, безопасности и экономической эффективности производства в целом.

## **4 ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА ВСКРЫТИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИЗВЕСТНЯКА**

### **4.1 Способы вскрытия месторождений разрабатываемых открытым способом**

Вскрытие рабочих горизонтов осуществляют для обеспечения транспортной связи забоев с пунктами разгрузки или складирования горной массы на поверхности. Соответствующие выработки проходят с поверхности или с уже вскрытого промежуточного горизонта и заканчивают на отметке почвы рабочей площадки вскрываемого горизонта.

Способ вскрытия характеризуется рядом признаков и в первую очередь - видом вскрывающих выработок. На месторождения карбонатных пород применяют следующие способы вскрытия: наклонными траншеями и полутраншеями; крутыми траншеями; без проведения траншей; подземным способом.

Наклонными траншеями вскрывают крупные, неглубокие месторождения с холмистым рельефом поверхности. Вскрытие крутыми траншеями целесообразно на высокогорных месторождениях, когда необходимо обеспечить быстрый ввод карьера в эксплуатацию. Траншеи должны быть оборудованы специальными подъемными устройствами.

В случае использования деррик-кранов, кабельных и козловых кранов разработку всего месторождения и перемещение карьерных грузов осуществляют без проведения вскрывающих выработок. Можно создать транспортный доступ к отдельным рабочим без вскрывающих выработок и такой способ вскрытия называют бестраншейным. Данный способ вскрытия применяют при разработке глубоких залежей с небольшими размерами в плане. Козловые краны используют только на месторождениях с равнинным рельефом местности, а кабельные и деррик-краны могут работать в любых условиях при возможности создания транспортного доступа к их опорам или мачтам.

Вскрытие подземными выработками приемлемо при большой мощности покрывающих пород и гористом рельефе местности, когда горизонты карьера можно вскрывать штольнями.

Чаще всего, рабочие горизонты карьера вскрывают наклонными траншеями или полутраншеями и реже – подземными выработками, а также комбинированным способом.

Траншеи, предназначенные для движения колесного транспорта, должны быть наклонными, а траншеи, оснащенные подъемниками, – крутыми.

В зависимости от числа уступов, обслуживаемых траншеями с общей трассой, различают соответственно отдельные, групповые и общие траншеи.

По расположению траншей относительно контура карьера они могут быть внешними или внутренними.

Внешние траншеи бывают стационарными или полустационарными. Внутренние траншеи могут быть, как стационарными, так и временными или скользящими. Временные и полустационарные внутренние траншеи позволяют уменьшить объемы горно-капитальных работ и перераспределить во времени вскрышные работы.

По расположению вскрывающих выработок относительно карьера и залежи различают вскрытие фланговыми и центральными траншеями (или подземными выработками), со стороны лежащего бока залежи, со стороны висячего бока залежи, а также с торца карьера.

При выборе способа вскрытия влияют:

– геологические факторы: мощность пластов полезного ископаемого, угол падения пластов, условия залегания, а также глубина залегания, тектонические нарушения, рельеф местности и другие;

– технические факторы: производительность карьера, срок службы карьера, размеры карьерного поля, число вскрывающих выработок, объем промышленных запасов и другие;

– экономические факторы: стоимость полезного ископаемого, наличие производственной инфраструктуры, удаленность объекта разработки от потребителей и другие.

Способ вскрытия влияет на экономическую эффективность разработки месторождения и он должен обеспечить минимум затрат на строительство карьера, минимальные сроки строительства, объемы вскрывающих горных выработок должны стремиться также к минимуму, при этом эффективность технологического транспорта должна быть максимальной.

Вскрытие вертикальными стволами на известняковых карьерах используют при невозможности применения других способов или низкой их эффективности.

Вскрытие наклонными стволами имеет не большое распространение, его обычно применяют в случае, когда полезное ископаемое не имеет выхода на дневную поверхность.

Большая часть месторождений пильного и облицовочного камня имеют благоприятные условия для вскрытия горизонтальными и слабонаклонными выработками. Широкое применение на таких месторождениях получил способ вскрытия штольнями. Это обеспечивает строительство шахты или карьера в короткие сроки с незначительными капитальными затратами. При этом для подземных и наземных перевозок используют одинаковое оборудование. Ширина вскрывающих выработок варьирует в пределах 4,5-6,5 м, а высота 2,5-4,5 м.

Для месторождений которым характерны сложные горно-геологических условиях, а именно в обводненных массивах, сильно трещиноватых, а также при обработке месторождений несколькими горизонтами применяют комбинированное вскрытие (штольней и капитальным уклоном или штольней и слепым вертикальным стволом и др.).

При разработке месторождения в условиях гористой местности необходимо учитывать, что вскрытие штольней имеет следующие преимущества по сравнению со вскрытием вертикальными, или наклонными стволами: отсутствуют расходы на подъём и водоотлив; отсутствуют затрат на сооружение копра и надшахтного здания подъёмной машины; схемы вскрытия значительно проще.



Если часть месторождения уже отрабатывается горнодобывающим предприятием, то рационально вскрывать карьерное поле прямо из борта карьера штольной. При этом необходимость подготовки специальных площадок и подъездных путей отпадает.

Поскольку производственная мощность карьеров известняка обычно ограничена, а условия, как правило, благоприятны, то их вскрытие чаще всего осуществляют траншеями внутреннего заложения и только при вытянутой форме месторождения в плане для сокращения расстояния транспортирования целесообразно рассматривать вариант комбинированного вскрытия, открыто-подземным способом. При этом, в случае наличия внутренней вскрыши, обусловленной низким качеством известняка для использования его при производстве цемента или флюса, данный способ обеспечит возможность внутреннего отвалообразования некондиционного известняка. Данный вариант предусматривает создание концентрационного горизонта для перегрузки горной массы с конвейера в автомобили, и более детально рассмотрен в следующих разделах настоящей главы.

#### **4.2 Исследование влияния параметров вскрывающих выработок и формы бортов карьеров в плане на показатели землепользования**

Как правило, для размещения объектов инфраструктуры, выработанное пространство должно иметь правильные, близкие к линейным формы. Очевидно, что в ряде случаев, задание требуемых форм выработкам при их постановке в предельное положение, может привести к росту коэффициента вскрыши. Однако, делать вывод о низкой эффективности реализации такого проекта разработки месторождения не всегда правомерно. Для подтверждения этого исследован характер изменения объёмов и трудоёмкости горных работ в зависимости от формы борта карьера в плане в его предельном положении. Данную работу проводили применительно к условиям месторождений «Эльдорадо» и «Александро-Агеевское». Они характеризуются сложным залеганием, а проектные контура карьеров имеют сложную форму в плане и показаны на рисунках 4.1 и 4.2.

Борта карьеров на отдельных участках имеют в плане форму близкую к циклоиде либо синусоиде. Очевидно, что затраты на их постановку при таких формах в предельное положение при использовании контурного взрывания будут выше. Для определения соответствующих численных показателей необходимо знать величину коэффициента приращения длины уступа за счёт его кривизны. Для циклоиды это приращение составит примерно 30%, что соответствует коэффициенту 1,3. Вторую кривую можно описать эллиптическим интегралом второго рода, который не выражается элементарными функциями и не имеет аналитического решения. В результате его приведения с заданными параметрами коэффициент приращения длины для данного типа кривой составляет от 1,1 до 1,6. Для исследования изменения объёмов и трудоёмкости горных работ по технологическим процессам, в зависимости от формы борта карьера в плане, целесообразно коэффициент удлинения борта в предельном положении равен 1,3, а форма и борта в плане принята циклоидой.

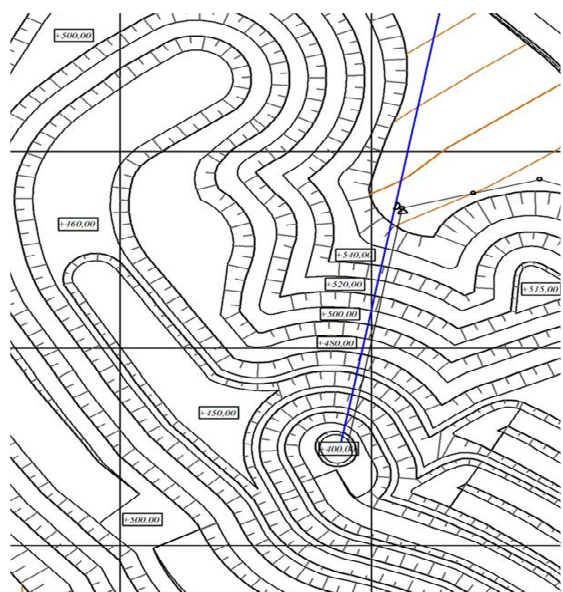


Рисунок 4.1 – Фрагмент проектного положения Северо-Восточного борта карьера Александрo-Агеевского месторождения

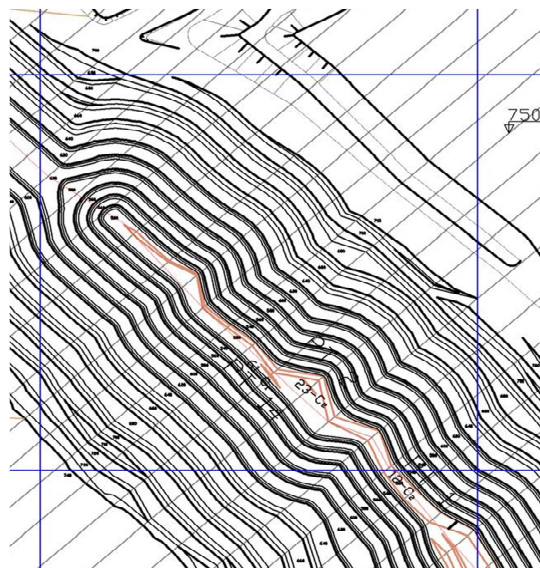


Рисунок 4.2 - Фрагмент проектного положения борта карьера Эльдорадо на северном участке месторождения

Количественная оценка изменения объёмов буровых работ выполнена на основе сравнения по двум буровым блокам, которые характеризуются следующими

формами (рисунок 4.3), параметрами и расчётными показателями, приведенными в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Параметры и показатели буровзрывных работ по вариантам приконтурных блоков

№ п/п	Наименование	Буровой блок I	Буровой блок II
1.	Ширина бурового блока, м	50	50
2.	Длина бурового блока, м	300	300
3.	Высота уступа, м	15	15
4.	Угол откоса уступа, град	75	75
5.	Длина скважины, м	17	17
6.	Угол наклона скважины к горизонту, град	75	75
7.	Высота зоны перебура, м	1,5	1,5
8.	Расстояние между скважинами в ряду, м	6	6
9.	Расстояние между соседними рядами скважин, м	6	6
10.	Расстояние между скважинами в контурном ряду, м	1	1
11.	Линия сопротивления по подошве уступа, м	7	7
12.	Число рядов скважин (без учёта контурного ряда), ед	5	5
13.	Форма откоса уступа в плане	линейная	циклоидальная
14.	Объём бурового блока, м <sup>3</sup>	225000	213750
15.	Дополнительно вовлекаемый в разработку объём пород при отработке прямолинейным фронтом, м <sup>3</sup>	0	11250
16.	Коэффициент удлинения фронта за счёт кривизны	1	1,3
17.	Количество скважин основного ряда, ед	250	238
18.	Количество скважин контурного ряда, ед	300	390
19.	Выход горной массы с метра скважины приконтурного блока, м <sup>3</sup> /м	24,1	20
20.	Объём буровых работ, м	9350	10676

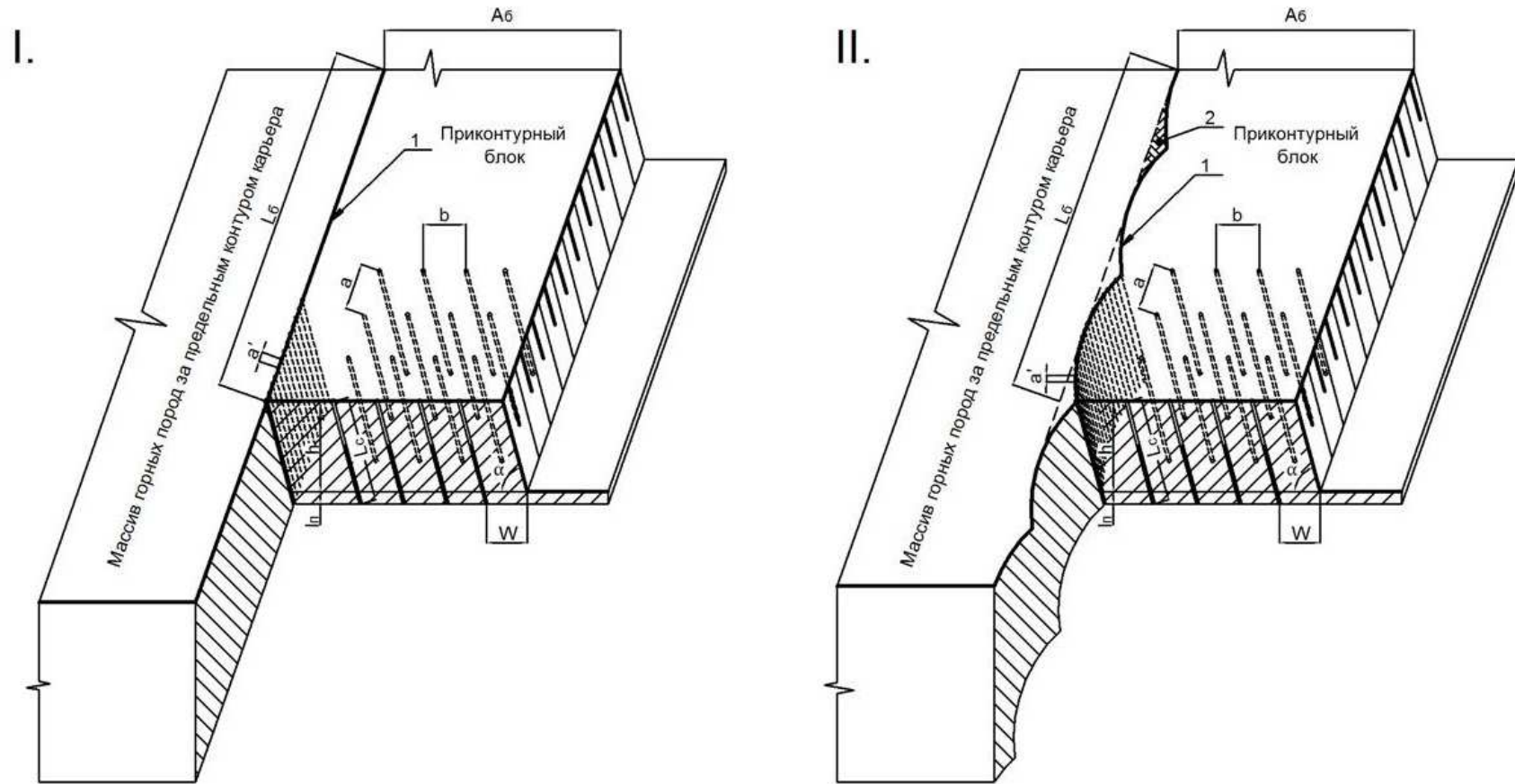


Рисунок 4. 3 – Схемы к расчёту параметров буровых блоков при линейной (I) и криволинейной (II) форме откоса уступа в плане на предельном контуре карьера: 1 – откос линейной (I) и криволинейной (II) формы; 2 – дополнительно объём породы при отработке прямолинейным фронтом;  $A_b$  – ширина бурового блока, м;  $L_b$  – длина бурового блока, м;  $W$  – линия сопротивления по подошве уступа, м;  $h$  – высота уступа, м;  $L_c$  – длина скважины, м;  $l_p$  – высота зоны перебура, м;  $a$  – расстояние между скважинами в ряду, м;  $b$  – расстояние между соседними рядами скважин, м;  $a'$  – расстояние между скважинами в контурном ряду, м

Как видно из таблицы 4.1 показатели буровзрывных работ при криволинейном в плане борту хуже, чем при прямолинейном. В связи с этим, выполнена количественная оценка влияния на эти показатели коэффициента удлинения борта. Соответствующие результаты приведены в относительной форме в виде графиков на рисунке 4.4. Относительные показатели получены путём приведения расчётного показателя, полученного при  $i$ -ом значении  $K_{удл}$  к базовому при  $K_{удл}=1$ .

Из графиков (рисунок 4.4) видно, что полученные зависимости имеют нелинейный вид, однако их динамика различна. Так, при росте коэффициента удлинения с 1 до 1,5 выход горной массы с 1 метра скважины в приконтурном блоке падает на 33%, а объём буровых работ - возрастает на 18%.

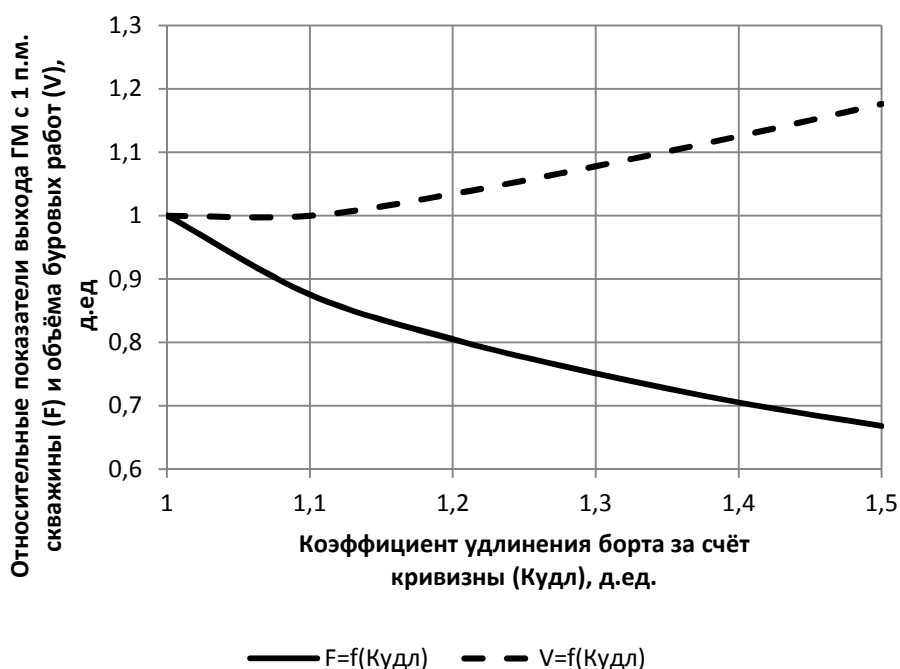


Рисунок 4.4 – Динамика относительных показателей буровзрывных работ в зависимости от коэффициента удлинения борта в плане с учетом его кривизны

Очевидным, является влияние кривизны борта в плане на работу выемочно-погрузочного оборудования. Так, согласно [70], в расчёте эффективной производительности экскаваторов участвует коэффициент управления, учитывающий несоответствие паспортных и фактических параметров забоя, а также квалификацию машиниста. При работе с относительно линейным фронтом и экскаваторной заход-

кой постоянной ширины, значение этого коэффициента для одноковшовых экскаваторов установлено на уровне 0,85. Элементарные расчёты показывают, что при снижении этого коэффициента до 0,7 при криволинейном фронте в плане с большим числом передвижек экскаватора, эффективная производительность, при обработке последней экскаваторной заходки приконтурного блока, снижается примерно на 20%.

Следует отметить влияние формы борта карьера в предельном положении на устойчивость откосов. Установлено, что устойчивость торцевых участков бортов карьеров вытянутой формы и бортов карьеров круглой или овальной форм в плане существенно возрастает. По сравнению с прямолинейными в плане бортами в перечисленных случаях возникает дополнительное сопротивление смещению призмы обрушения, создаваемое силами бокового распора. Поэтому решения плоской задачи устойчивости откосов в этих случаях корректируются при помощи графиков ВНИМИ, построенных на основе моделирования методом эквивалентных материалов [75]. Однако, участки бортов карьера, имеющие выпуклость в плане в сторону выработанного пространства, концентрируют в своей подошве избыточные сдвигающие усилия. В этой связи, для обеспечения устойчивости горных выработок, угол наклона борта карьера на таких участках выполаживают, по сравнению с прямолинейными или вогнутыми в плане бортами. При этом, увеличение угла наклона борта карьера в предельном положении на 1-2 град. за счет придания борту прямолинейной формы в плане может привести к уменьшению объёмов вскрышных пород.

Подводя итог вышесказанному, стоит отметить необходимость практической реализации данного подхода к разработке месторождений полезных ископаемых вблизи центров агломерации.

Карьер на предельном контуре представляет собой сооружение, параметры которого должны обеспечивать выемку поставленных на баланс запасов полезных ископаемых, устойчивость и безопасность производства горных работ, а также учитывать необходимость размещения транспортных коммуникаций, обеспечиваю-

щих грузотранспортную связь рабочих горизонтов карьера с поверхностью. Множеством исследований, в том числе [71, 76], установлено влияние параметров транспортных берм (ширина и уклон) на объёмы вскрыши в предельном контуре карьера.

Вместе с тем, настоящими исследованиями выполнена количественная оценка влияния параметров вскрывающих выработок открытого типа, как на объёмы вскрыши в предельном контуре карьера, так и на площадь нарушаемых карьером земель для округлых и вытянутых в плане месторождений, с целью установления характера и интенсивности указанных изменений. В ходе которых, это влияние оценивалось на оба показателя, в силу их взаимообусловленности (объём вскрыши в предельном контуре карьера –  $V_{вск}$ , площадь нарушаемых карьером земель –  $S_k$ ). Условные параметры карьеров, для которых выполнена вышеуказанная оценка, приведены в таблице 4.2.

Для выхода на расчётные параметры объёмов и отчуждаемых площадей при математическом моделировании карьерного пространства дополнительно определены следующие параметры:

- размеры карьера по дну и по поверхности (периметр, площадь);
- длина трассы вскрывающих выработок и число витков трассы;
- углы погашения бортов карьера.

Таблица 4.2 – Исходные данные для моделирования

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра для типа месторождений	
		округлых	вытянутых
1	Конечная глубина карьера, м	300	300
2	Высота уступа, м	15	15
3	Угол откоса уступа, град.	75	75
4	Ширина предохранительной бермы, м	7	7
5	Горизонтальная мощность рудного тела, м	150*	150
6	Длина рудного тела по простиранию, м	-	2000
7	Коэффициент удлинения трассы	1,1	1,1

\* Рудное тело описано поверхностью вращения.

Настоящими исследованиями размеры карьера по дну определены размерами рудного тела в плане. Карьер округлой формы, представляет собой усеченный конус, на боковой поверхности которого расположена спиральная трасса. Трасса вскрывающих выработок в карьере вытянутой формы расположена по простиранию полезного ископаемого на одном из его бортов, а поперечное сечение карьера представляет собой трапецию. Также, для уточнения объёмов вскрыши, учтены объёмы, заключенные в торцевых бортах вытянутого в плане карьера. Для обоих типов месторождений углы наклона бортов карьера определены с учетом их выполнения транспортными бермами. Перечисленные выше параметры учтены при моделировании с помощью известных аналитических формул 4.1-4.5 [71]. Объёмы горной массы рассчитаны для простейших геометрических фигур: усеченного цилиндрического конуса – для округлых месторождений; эллиптического усеченного конуса – для вытянутых. Расчёт объёма вскрышных пород в контуре карьера произведен путем вычитания из объёма горной массы объёма полезного ископаемого.

$$L_d = K_y \cdot H_k / i_p; \quad (4.1)$$

$$n_b = K_y \cdot H_k / [i_p \cdot (P_d + \pi \cdot H_k \cdot \text{ctg}\alpha)]; \quad (4.2)$$

$$S_{\Pi} = S_d + P_d \cdot H_k \cdot \text{ctg}\alpha + \pi \cdot H_k^2 \cdot \text{ctg}^2\alpha; \quad (4.3)$$

$$\alpha = \text{arctg} \frac{H_k}{n_b \cdot \text{Ш}_{\text{тр}}^b + \left(\frac{H_k}{h} - 1\right) \cdot \text{Ш}_{\text{пр}}^b + h \cdot \text{ctg}\alpha \cdot \frac{H_k}{h}}; \quad (4.4)$$

$$V_T = \frac{1}{2} \cdot \text{Ш}_d \cdot H_k^2 \cdot \text{ctg}\alpha_T + \frac{\pi}{12} \cdot 2 \cdot H_k^3 \cdot \text{ctg}^2\alpha_{\text{cp}}; \quad (4.5)$$

где  $L_d$  – действительная длина трассы вскрывающих выработок, м;  $n_b$  – число витков спиральной трассы, ед;  $S_{\Pi}$  – площадь карьера округлой формы по поверхности, м<sup>2</sup>;  $\alpha$  – угол наклона борта карьера при погашении, град;  $V_T$  – объём горной массы, заключенный в одном торцевом борту карьера, м<sup>3</sup>;  $K_y$  – коэффициент удлинения трассы;  $H_k$  – глубина карьера, м;  $i_p$  – руководящий уклон трассы, д.ед.;  $P_d$  – периметр дна карьера округлой формы, м;  $S_d$  – площадь карьера округлой формы по дну, м<sup>2</sup>;  $h$  – высота уступа, м;  $\text{Ш}_{\text{тр}}^b$  – ширина транспортной бермы, м;  $\text{Ш}_{\text{пр}}^b$  – ширина предохранительной бермы, м;  $\text{Ш}_d$  – ширина дна карьера вытянутой формы, м;  $\alpha_T$  –



угол наклона торцового борта, град;  $\alpha_{cp}$  – средний угол наклона по лежащему, ви-  
сящему и торцовому бортам, град.

При оценке влияния параметров вскрывающих выработок на объемы вскрыши и площадь нарушаемых земель с заданным шагом в рабочем интервале изменялись руководящий уклон трассы, ширина транспортных берм и глубина карьера. Так, шаги изменения параметров карьера были приняты:

- ширина транспортной бермы - 5 м (0, 15-35 м);
- руководящий уклон трассы - 20‰ (40-120‰);
- глубина карьера - 30 м (30-300 м).

Результаты расчетов, выполненных с учётом заданных параметров (таблица 4.2), представлены в виде графиков на рисунках 4.5 и 4.6.

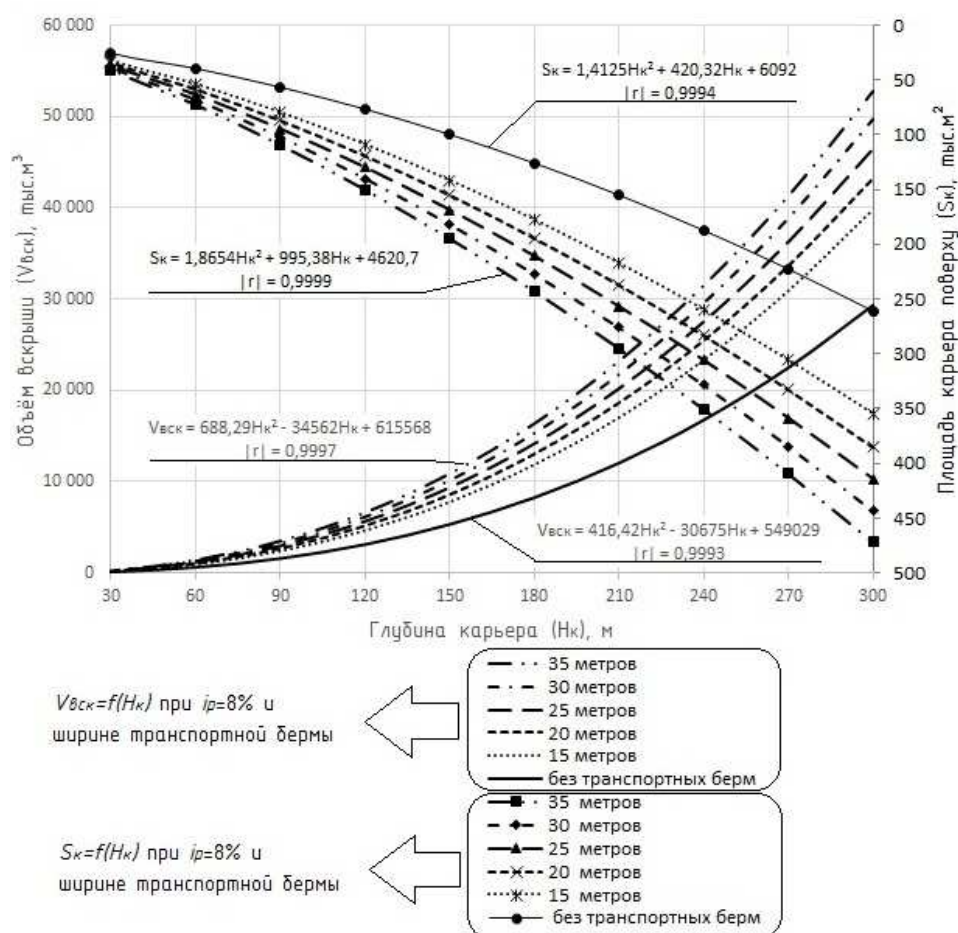


Рисунок 4.5 – Зависимость объема вскрыши в предельном контуре карьера ( $V_{вск}$ ) и площади нарушаемых карьером земель ( $S_k$ ) от глубины карьера ( $H_k$ ) и параметров вскрывающих выработок (ширины транспортных берм и руководящего уклона трассы) для округлых в плане месторождений

Анализ графиков приведенных на рисунке 4.5, свидетельствует о том, что увеличение ширины транспортной бермы приводит к росту абсолютных значений обеих функций, причем интенсивность их роста возрастает при увеличении глубины карьера (функции, возрастающие на всем интервале значений глубины карьера). В свою очередь, изменение руководящего уклона трассы с минимального значения в 40‰ до максимального в 120‰, показывает обратную динамику по обеим функциям, а интенсивность их роста с увеличением глубины карьера имеет менее выраженный характер.

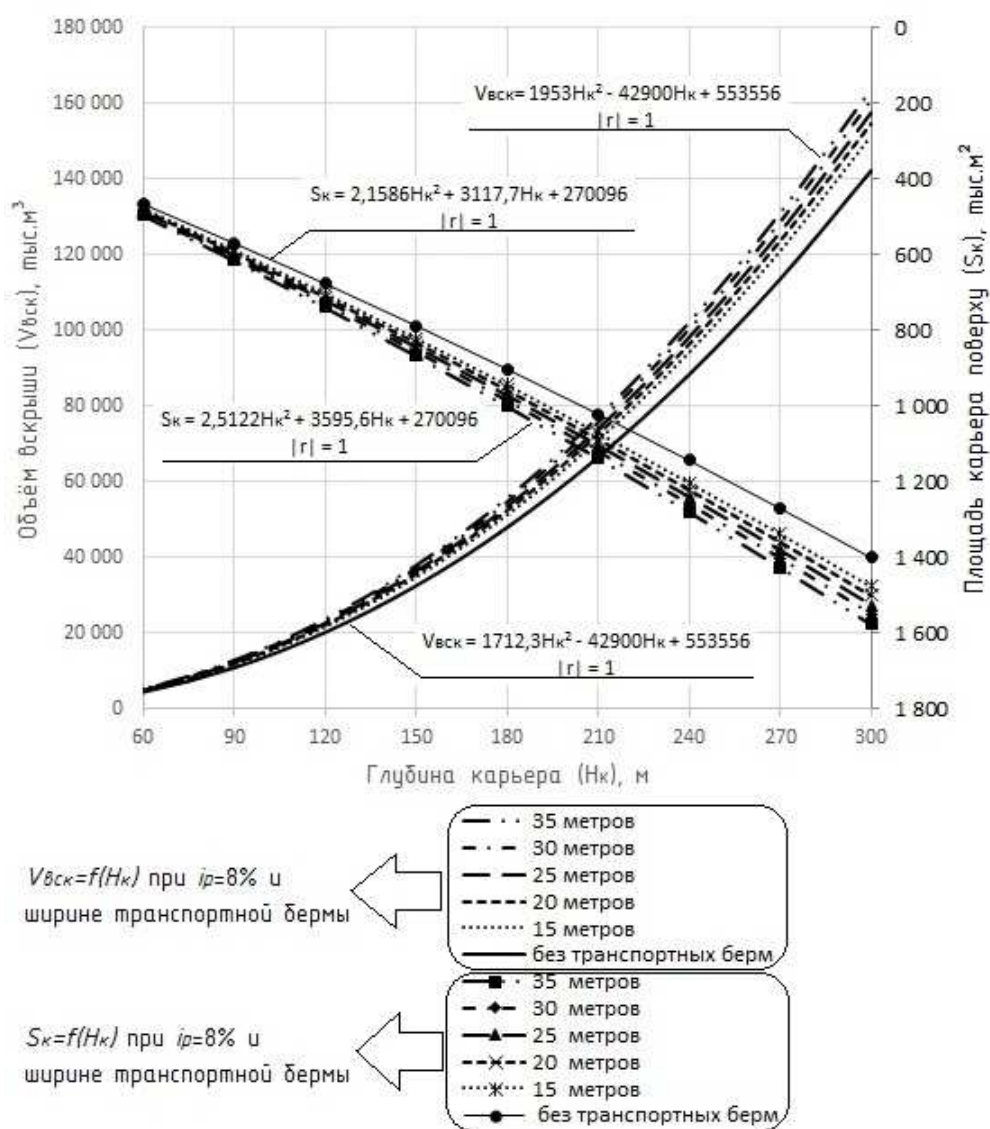


Рисунок 4.6 – Зависимость объема вскрыши в предельном контуре карьера ( $V_{вск}$ ) и площади нарушаемых карьером земель ( $S_k$ ) от глубины карьера ( $H_k$ ) и параметров вскрывающих выработок (ширины транспортных берм и руководящего уклона трассы) для вытянутых в плане месторождений

Согласно графикам, приведенным на рисунке 4.6, для вытянутых в плане месторождений наблюдается подобная тенденция изменения анализируемых показателей, однако интенсивность динамики площади нарушаемых карьером земель с ростом глубины карьера носит практически линейный характер.

Вместе с тем, более полное и наглядное представление о влиянии параметров вскрывающих выработок на анализируемые показатели, обеспечивает представление последних в относительной форме. При этом, исследования выполняли для детерминированных значениях переменных: руководящий уклон трассы –  $i_p=80\%$ ; ширина транспортных берм – 25м. Полученные результаты представлены в виде графиков на рисунках 4.7 и 4.8.

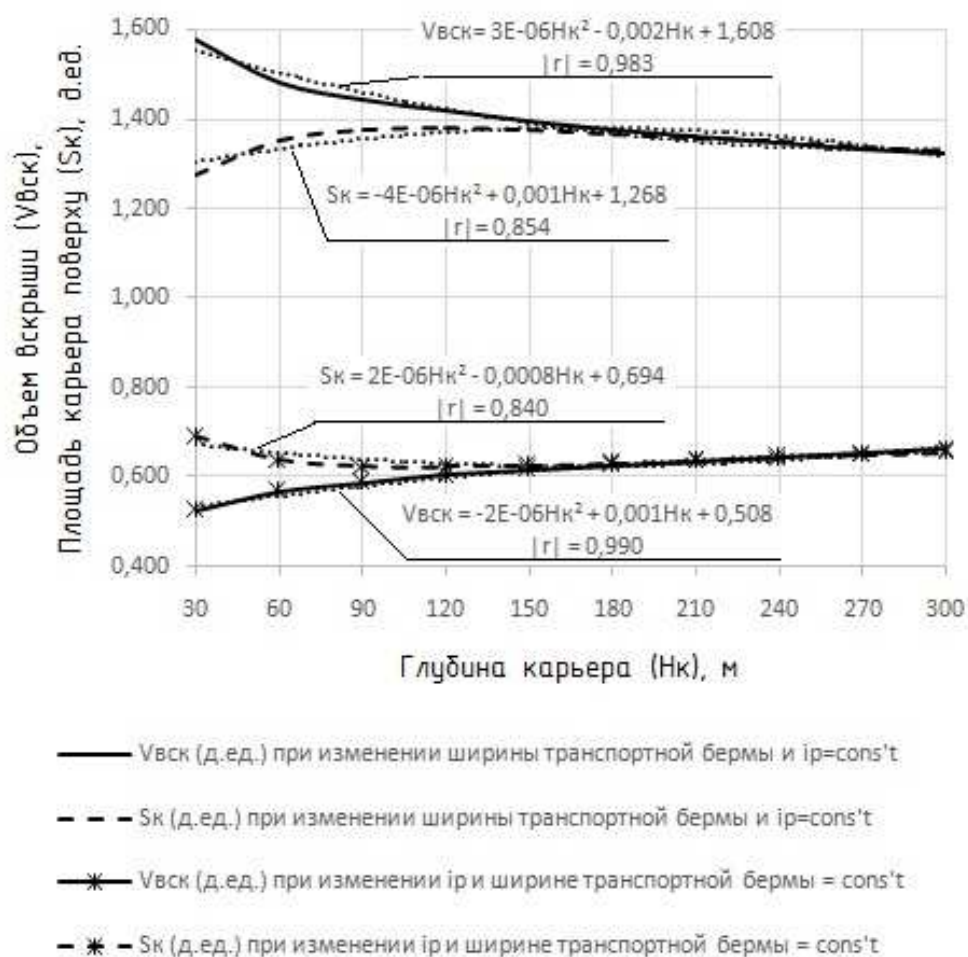


Рисунок 4.7 – Относительная динамика объёмов вскрыши в предельном контуре карьера ( $V_{вск}$ ) и площади нарушаемых карьером земель ( $S_k$ ) от глубины карьера ( $H_k$ ) для округлых в плане месторождений

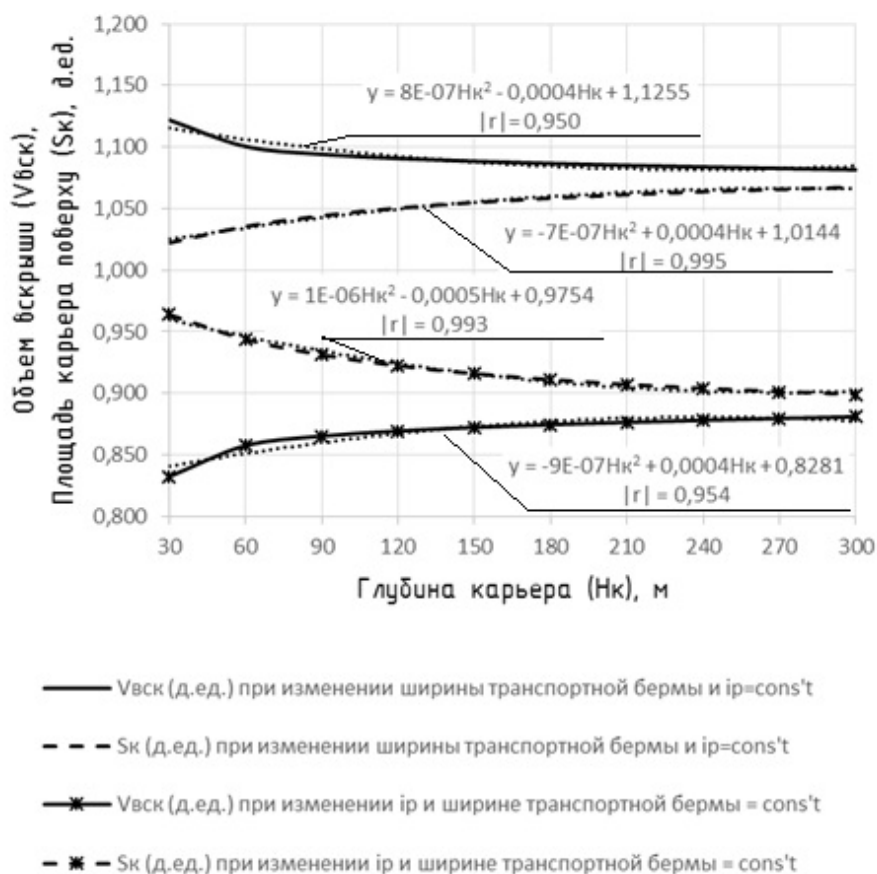


Рисунок 4.8 – Относительная динамика объёмов вскрыши в предельном контуре карьера ( $V_{вск}$ ) и площади нарушаемых карьером земель ( $S_k$ ) от глубины карьера ( $H_k$ ) для вытянутых в плане месторождений

Анализ графиков на рисунке 4.7 позволяет сделать следующие выводы:

- максимальное влияние ширины транспортной бермы на объемы вскрыши имеют место при минимальной глубине карьера и соответствующая функция монотонно убывает в исследуемом интервале значений;
- максимальное влияние руководящего уклона трассы на объемы вскрыши имеет аналогичный характер, но соответствующая функция монотонно возрастает в исследуемом интервале значений;
- максимальное влияние ширины транспортной бермы на площадь нарушаемых карьером земель наблюдается в области средних значений интервала глубин карьера;
- зона максимального влияния руководящего уклона трассы на площадь нарушаемых карьером земель соответствует средним значениям интервала глубин карьера.

Подобное поведение наблюдается и при анализе графиков на рисунке 4.8. Однако существенным отличием изменения указанных функций от глубины карьера для вытянутых месторождений является меньший разброс значений функций. Это свидетельствует о неодинаковом влиянии данных параметров для округлых и вытянутых в плане месторождений.

### **4.3 Разработка технологии вскрытия месторождения комбинированным способом и обоснование глубины заложения концентрационного горизонта**

Под технологией открытой разработки месторождений понимают совокупность способов и приемов механизированного осуществления взаимосвязанных процессов горных работ, основанная на фундаментальных знаниях закономерностей разработки и возможностей технических средств [70].

Нарушение природного ландшафта происходит при создании горных выработок и размещении вскрышных пород на площадях, которые могут превышать размеры горных выработок. Поэтому, в основе эффективной ресурсосберегающей технологии открытой разработки месторождений известняков, необходимо реализовать принцип, позволяющий снизить объемы горных работ и площади нарушаемых земель, а также обеспечивающий возможность использования техногенных горнотехнических сооружений после завершения разработки месторождения в качестве объектов, имеющих высокую общественную полезность и ценность.

Известные способы разработки [77, 78, 79, 80] и другие, позволяют повысить эффективность освоения месторождений, вместе с тем они имеют следующие недостатки:

- невозможность доработки месторождения подземным способом, используя ранее пройденные вскрывающие выработки;
- высокая составляющая энергетических расходов, связанная с необходимостью дробления всей горной массы, включая пустые породы, для выдачи её к пунктам приема конвейерным транспортом;

- достаточно узкая область промышленного применения применительно к горно-геологическим условиям;
- низкая степень использования выработанного пространства в процессе разработки месторождения;
- отсутствует возможность последующего использования выработанного пространства карьера и других техногенных горных выработок.

В этой связи предлагается технология разработки месторождений [81], в которой нашли свое отражение вышеперечисленные принципы и устраняются указанные недостатки.

Технология разработки месторождений известняков заключается в формировании единого комплекса горнотехнических сооружений, параметры которого обеспечивают его использование, как во время разработки месторождения, так и после её завершения. Обеспечивается это тем, что вскрытие месторождения до отметки концентрационного горизонта выполняют открытыми выработками, а затем совокупностью временных открытых и подземных вскрывающих выработок. Отметки концентрационного горизонта и временных вскрывающих выработок устанавливают в увязке с текущими объемами вскрышных работ при слоевой выемке, а вскрышные породы глубинной части месторождения отсыпают в выработанном пространстве карьера.

Предлагаемая технология схематически показана на рисунках 4.9 – 4.12.

Последовательность производства открытых горных работ осуществляется следующим образом, месторождения обрабатывается в несколько стадий. На первой стадии (рисунки 4.9 и 4.10) горные работы ведут открытым способом с формированием карьера первой очереди и трассы капитальных вскрывающих выработок *1* до отметки концентрационного горизонта *2*. Горную массу вывозят автотранспортом на поверхность. Породы направляют во внешний отвал, а руду на временный склад, с мобильным дробильным комплексом оборудования. Размещать карьер первой очереди в плане целесообразно в торцевой части залежи, падение которой

направлено в карьер. На второй стадии (рисунок 4.11) в борту карьера на концентрационном горизонте вкрест простирания залежи проходят штольню 3 за зону сдвига 4, а в ее конце - камеру 5.

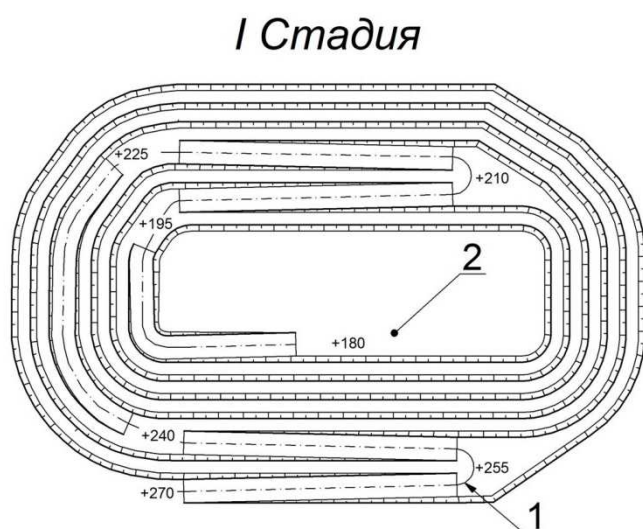


Рисунок 4.9 – План карьера на конец I стадии разработки: 1 – трасса капитальных вскрывающих выработок; 2 – концентрационный горизонт

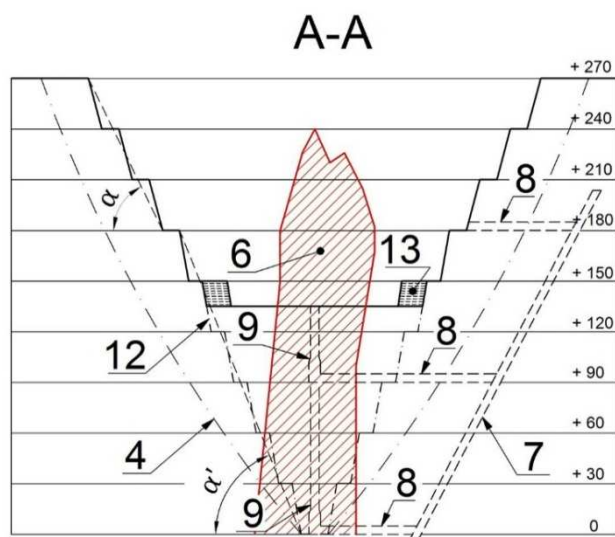


Рисунок 4.10 – Поперечный разрез карьера по линии А-А: 4 – зона сдвига приконтурного массива пород; 6 – рудное тело; 7 – конвейерный уклон; 8 – квершлаг; 9 – рудоспуск; 12 – борт карьера в предельном положении; 13 – предохранительная призма

Из камеры 5 по простиранию залежи 6 на предельную глубину карьера второй очереди проходят конвейерный уклон 7. Затем, через заданное расстояние по простиранию залежи 6, из конвейерного уклона 7 к центру карьерного поля в плане нарезают квершлаг 8 и перегрузочные узлы, которые соединяют рудоспусками 9 с рабочей зоной карьера. Перегрузочные узлы оборудуют конусными дробилками крупного дробления. В квершлаг 8 и уклон 7 устанавливают конвейера, а места их пересечения оборудуют перегрузочными станциями.

В камере 5 устраивают перегрузочный пункт с конвейерной линии уклона 7 на конвейерную линию штольни 3. Перегрузочный пункт оборудуют дробилками среднего и мелкого дробления. Штольневая конвейерная линия выходит на стакер 10, который осуществляет разгрузку в штабель 11 на концентрационном горизонте



2. Параллельно проходке подземных транспортных выработок ведут слоевую выемку вскрышных пород в границах карьера второй очереди (рисунок 4.11), ширина которого по верху соответствует карьере первой очереди (рисунок 4.9). Вскрышные породы на горизонте отрабатывают в направлении бортов карьера 12, формируя предохранительные призмы 13 на конечном его контуре, отбойку которых осуществляют на заключительной стадии работ на горизонте. Для отработки предохранительных призм 13 используют оборудование с дистанционным управлением, а предохранительную берму 14 борта карьера формируют на несколько горизонтов.

Выпуклая форма борта карьера 12 позволяет перераспределить объёмы вскрыши следующим образом: около 87% - до половины глубины карьера и 13% - далее до дна карьера. Вскрышные породы перемещают автотранспортом по отрабатываемому горизонту, затем по трассе вскрывающих выработок 1 карьера первой очереди, и далее на внешний вскрышной отвал. К моменту понижения горных работ в карьере второй очереди до первого рудного горизонта, должно быть закончено капитальное строительство подземных транспортных коммуникаций, а рудоспуски 9 иметь выход в рабочую зону карьера.

Кондиционный известняк автосамосвалами транспортируют к рудоспуску 9, и далее по трассе подземных выработок на площадку концентрационного горизонта 2. Вскрышные породы перемещают автосамосвалами во внешние отвалы.

На третьей стадии по достижении дном карьера второй очереди отметки концентрационного горизонта, вблизи его границы формируют зону консервации вскрышных пород 15, в которой закладывают систему временных вскрывающих выработок 16 с концентрационного горизонта 2 до горизонта, соответствующего порядка 1/2 конечной глубины карьера. Над зоной консервации вскрышных пород 15 оставляют берму безопасности 17, шириной, достаточной для обеспечения безопасного движения автосамосвалов по временным вскрывающим выработкам 16. Наличие временных вскрывающих выработок 16 в рабочей зоне карьера позволяет перемещать порядка 87% вскрыши автосамосвалами, при размещении трассы капитальных вскрывающих выработок 1 в границах карьера первой очереди до концентрационного горизонта 2.



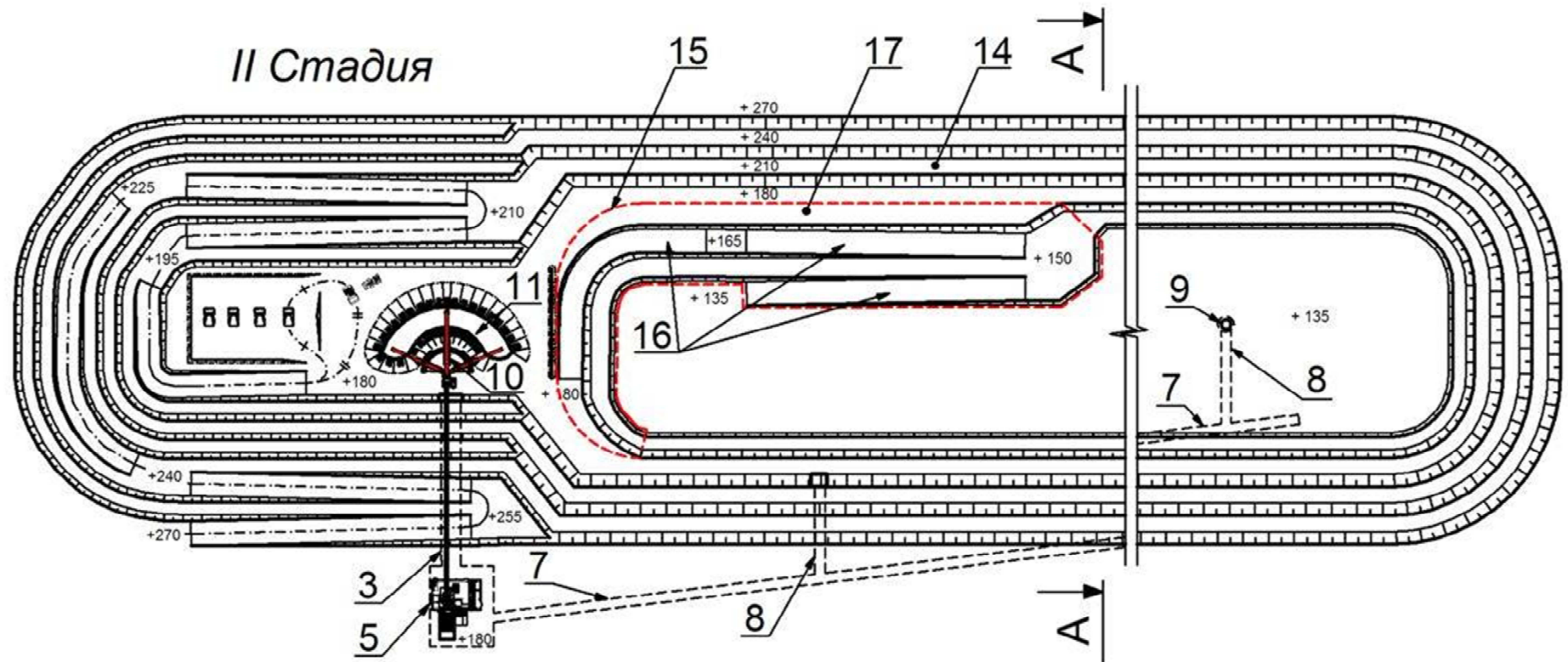


Рисунок 4.11 – План карьера на конец II стадии разработки: 3 – штольня; 5 – камера; 7 – конвейерный уклон; 8 – квершлаг; 9 – рудоспуск; 10 – стакер; 11 – штабель дроблёной руды; 14 – предохранительная берма; 15 – зона консервации вскрышных пород; 16 – временные вскрывающие выработки; 17 – берма безопасности

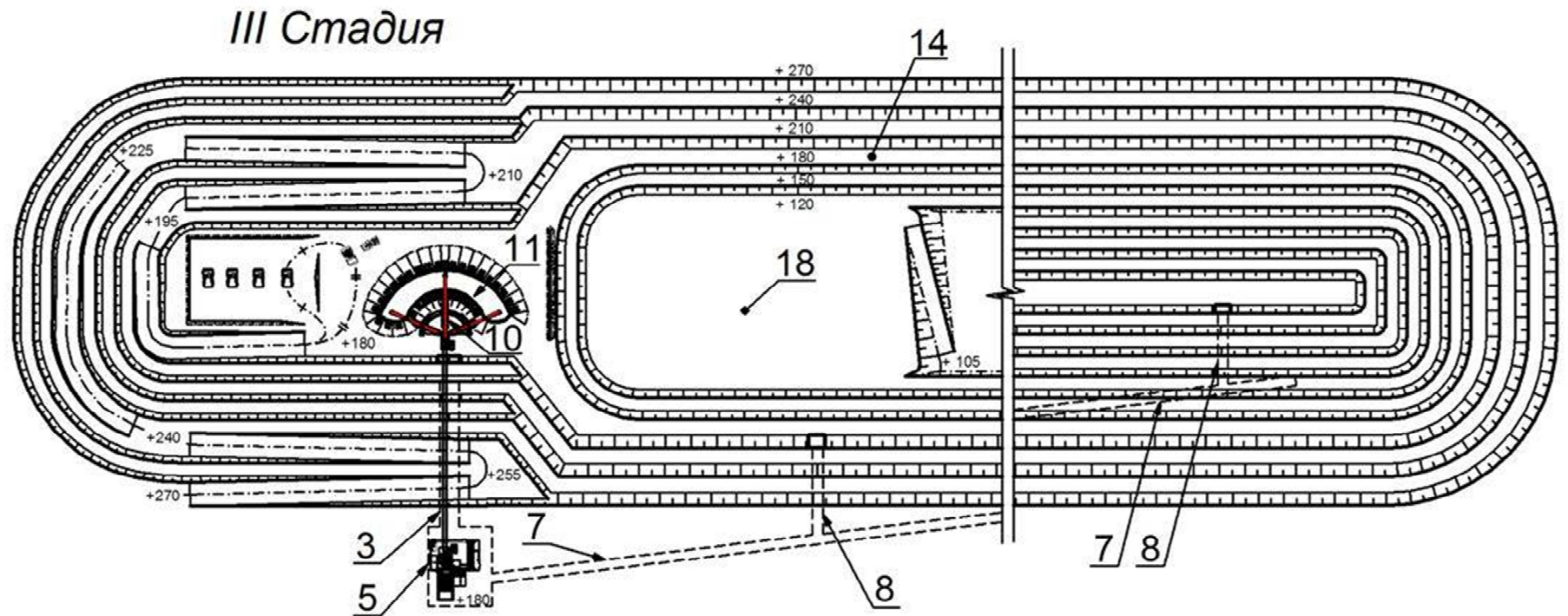


Рисунок 4.12 – План карьера на конец III стадии разработки: 3 – штольня; 5 – камера; 7 – конвейерный уклон; 8 – квершлаг; 10 – стакер; 11 – штабель дроблёной руды; 14 – предохранительная берма; 18 – внутренний отвал

По завершению отработки месторождения, сформированный комплекс горно-технических сооружений может быть использован, как объект городской инфраструктуры по производству материалов дорожных одежд, без дополнительных инвестиций в строительство. В этом случае, карьер первой очереди в пост эксплуатационный период будет выполнять функцию погрузочно-разгрузочного узла; подземные горные выработки можно использовать для перемещения и дробления материала, а выработанное пространство карьера второй очереди - в качестве аккумуляющей ёмкости. Предлагаемая технология вскрытия и разработки позволит существенно понизить землеёмкость и максимально сохранить природный ландшафт территорий, прилегающих к карьере, а также повысить экономическую эффективность разработки месторождения.

Экономичность предлагаемой технологии обеспечивается за счёт снижения объемов вскрышных работ и энергетических расходов по ним, сокращения землеёмкости открытых горных работ, а также возможности пост эксплуатационного использования выработанного пространства карьера и подземных выработок в качестве объекта городской инфраструктуры.

Для оценки влияния глубины заложения концентрационного горизонта на эффективность разработки месторождения по вышеописанной технологии в программной среде Excel была разработана специальная программа для расчета индекса доходности инвестиций с учетом относительной трудности разработки месторождения известняка.

В данной программе реализована методика, основные положения которой приведены во второй главе (п.2.1-2.3).

Понятие и методологию относительной оценки трудности разработки месторождений полезных ископаемых предложил академик В.В. Ржевский. Дальнейшее развитие для месторождений облицовочного камня и известняка данная методология получила в работах профессора А.И. Косолапова и доцента Е.Ю. Назаровой. При этом для расчета относительного показателя трудности разработки ( $P_m$ ) предложена специальная формула, учитывающая основные параметры месторождения такие, как прочность на одноосное сжатие ( $\sigma_{сж}$ ), превышение месторождения над

господствующими отметками местности ( $d_n$ ), мощность вскрыши ( $H_6$ ), угол наклона рельефа поверхности ( $\alpha$ ), запасы месторождения ( $Z$ ) и глубину месторождения ( $H_k$ ). Методика и формула для расчета относительного показателя трудности разработки приведены в п.2.2.

Численные исследования, выполненные на ЭВМ с помощью разработанной программы показали, что индекс доходности инвестиций ( $ИД$ ) зависит от глубины заложения концентрационного горизонта ( $H_k^{zop}$ ) и относительной трудности разработки месторождения ( $П_m$ ), а соответствующие результаты приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Влияние относительной трудности разработки и глубины заложения концентрационного горизонта на эффективность разработки месторождений известняка при комбинированном вскрытии

Относительный показатель трудности разработки	Значение индекса доходности инвестиций при глубине заложения концентрационного горизонта, м										
	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
5	2,5	3,2	3,5	3,3	3,1	2,9	2,6	2,3	2,0	1,75	1,45
10	2,3	2,7	2,9	3,0	3,1	2,9	2,5	2,1	1,8	1,45	1,25
15	2,1	2,4	2,7	2,9	3,0	2,85	2,5	2,15	1,75	1,35	1,0
20	1,7	1,9	2,2	2,4	2,6	2,9	3,1	2,85	2,4	1,8	1,25
25	1,0	1,3	1,5	1,7	2,0	2,3	2,5	2,3	1,9	1,5	1,0

Анализ данных, представленных в таблице 4.3, свидетельствует о том, что величина индекса доходности инвестиций при комбинированном вскрытии месторождения известняка тесно связана, как с глубиной заложения концентрационного горизонта, так и с относительным показателем трудности разработки. Причем характер его зависимости от глубины predetermined относительным показателем трудности разработки. С целью поиска оптимальных значений глубин заложения концентрационных горизонтов, используя данные таблицы 4.3 построены соответствующие графики (рисунок 4.13).

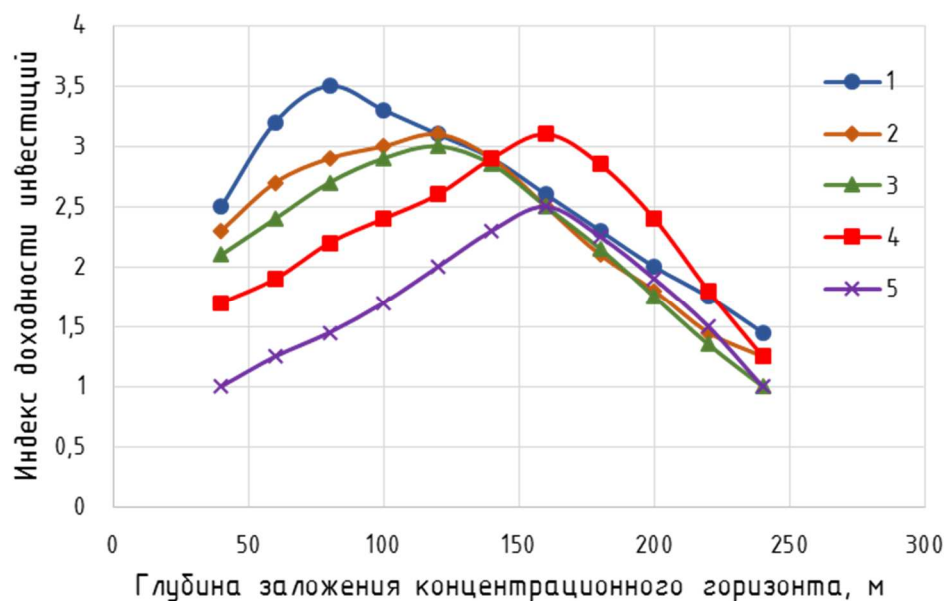


Рисунок 4.13 – Графики зависимости индекса доходности инвестиций от глубины заложения концентрационного горизонта при комбинированном вскрытии месторождения и относительном показателе трудности его разработки: 1- 5; 2-10; 3-15; 4-20; 5-25

Математико-статистическая обработка графиков, представленных на рисунке 4.13 показывает, что выявленные зависимости (таблица 4.4), описывают полиномы третьего порядка:

Таблица 4.4 – Определение глубины заложения концентрационного горизонта при комбинированном вскрытии месторождений известняка

Относительный показатель трудности разработки ( $P_m$ )	Глубина заложения концентрационного горизонта
5	$ИД = 0,000001 \cdot (H_k^{rop})^3 - 0,0005 \cdot (H_k^{rop})^2 + 0,0671 \cdot H_k^{rop} + 0,6591$
10	$ИД = 0,0000007 \cdot (H_k^{rop})^3 - 0,0004 \cdot (H_k^{rop})^2 + 0,0593 \cdot H_k^{rop} + 0,4742$
15	$ИД = 0,0000004 \cdot (H_k^{rop})^3 - 0,0003 \cdot (H_k^{rop})^2 + 0,0522 \cdot H_k^{rop} + 0,4$
20	$ИД = -0,0000008 \cdot (H_k^{rop})^3 + 0,0002 \cdot (H_k^{rop})^2 - 0,003 \cdot H_k^{rop} + 1,5227$
25	$ИД = -0,0000008 \cdot (H_k^{rop})^3 + 0,0002 \cdot (H_k^{rop})^2 - 0,0012 \cdot H_k^{rop} + 0,7773$

Бесспорно, что данные функции имеют выраженные экстремумы, а значения зависят от величины относительного показателя трудности разработки. Соответствующий график зависимости оптимальной глубины заложения концентрационного горизонта от величины относительного показателя трудности разработки представлен на рисунке 4.14.

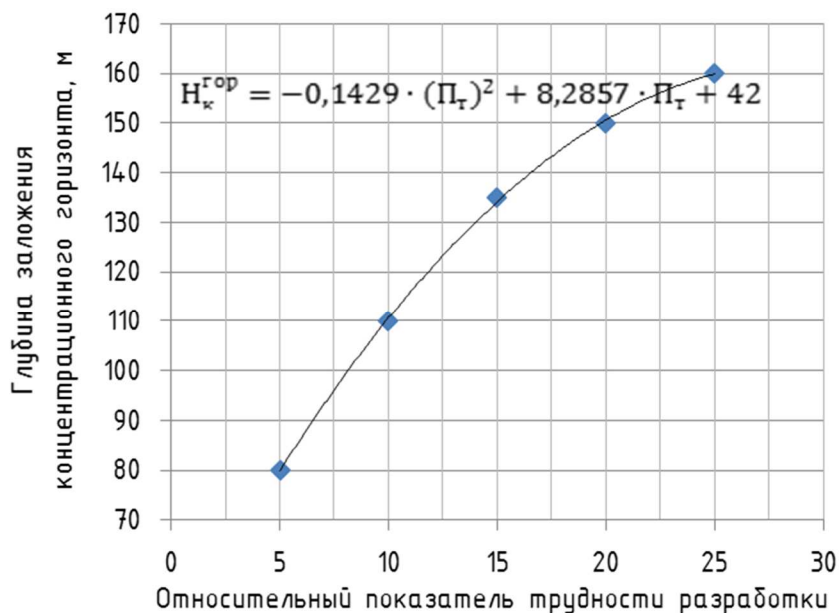


Рисунок 4.14 – График зависимости глубины заложения концентрационного горизонта от относительного показателя трудности разработки месторождения известняков

## 4.4 Выводы

4.4.1 Для размещения объектов инфраструктуры, выработанное пространство известняковых карьеров должно иметь правильные, близкие к линейным формы. Как показали исследования, правильная форма позволяет уменьшить трудозатраты при подготовке пород буровзрывным способом и повысить устойчивость откосов.

4.4.2 Карьер в конечном положении представляет собой сооружение, параметры которого должны обеспечить выемку балансовых запасов полезных ископаемых, устойчивость и безопасность производства горных работ, а также учитывать необходимость размещения транспортных коммуникаций, обеспечивающих грузотранспортную связь рабочих горизонтов карьера с поверхностью.

4.4.3 В результате анализа влияния параметров вскрывающих выработок на объемы вскрыши и площадь нарушаемых земель установлено, что максимальное влияние ширины транспортных берм на объемы вскрыши имеют место при минимальной глубине карьера и соответствующая функция монотонно убывает в исследуемом интервале значений; влияние руководящего уклона трассы на объемы вскрыши имеет аналогичный характер, но данная функция монотонно возрастает.

4.4.4 Предложена технология разработки месторождений известняка, предусматривающая его комбинированное вскрытие с разделением грузопотоков вскрышных пород и полезного ископаемого, а также в размещении объектов первичного перерабатывающего производства в зоне выработанного пространства карьера и подземных выработках, обеспечивающая снижение среднего коэффициента вскрыши и землеёмкости открытых горных работ.

4.4.5 Оценка эффективности освоения месторождения показала, что величина индекса доходности инвестиций при комбинированном вскрытии месторождения известняка тесно связана, как с глубиной заложения концентрационного горизонта, так и с относительным показателем трудности разработки.

4.4.6 Численные исследования, выполненные по специально-разработанной программе показали, что функция индекса доходности инвестиций от глубины заложения концентрационного горизонта при комбинированном вскрытии место-

рождения имеет параболический вид. Причем, экстремум ее зависит от относительного показателя трудности разработки месторождения известняка. Установлено, что оптимальная глубина концентрационного горизонта возрастает с ростом относительной трудности разработки и соответствующая зависимость очень хорошо описывается логарифмической кривой.



## **5 ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИЗВЕСТНЯКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЫРАБОТАННОГО КАРЬЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

### **5.1 Технология разработки месторождений известняка и факторы влияющие на её выбор**

Выбор технологии разработки месторождений в значительной мере обусловлен такими особенностями строения залежи, как пространственная вариация пород, различающихся минеральным составом, прочностью и наличием прослоев. Для месторождений известняка важным показателем является закарстованность их массивов (достигающая, в отдельных случаях 12-15 % [82]).

Особенность разработки месторождений известняка состоит в том, что развитие фронта горных работ, и основные производственные процессы предопределены трещиноватостью массива.

Вскрышные работы на известняковых карьерах не имеют каких-либо специфических особенностей и это связано с их небольшими объемами (значения коэффициентов вскрыши редко превышает  $0,4 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , при её мощности менее 3м). Определенной спецификой из-за жестких требований к химическому составу обладают месторождения известняка, на которых объем внутренней вскрыши (некондиционного известняка) может превышать объем товарного известняка.

Рыхлые вскрышные породы представлены, главным образом, песками, обычно мелкими, суглинками и глинами, иногда – тяжелыми глинами. Скальная вскрыша представлена выветренными породами, часто, с суглинками, доломитовой мукой и глиной. При этом породы скальной вскрыши используют для производства цемента и щебня [60].

При разработке таких месторождений, главным образом, применяют экскаваторно-транспортно-отвальные комплексы оборудования, включающие, в качестве транспортного комплекса оборудования автосамосвалы, отвального – бульдозеры.

Основными факторами, влияющими на выбор технологии разработки месторождения, являются природные, технологические, экономические, социальные и

экологические. Обоснование главных технологических и организационных решений predetermined природными (горно-геологическими) условия месторождения. Экономическая оценка технологии и организации открытых горных работ учитывает рельеф поверхности месторождения, положение залежи относительно земной поверхности, угол падения, мощность, форму и строение залежи, климатические и гидрогеологические условия района месторождения.

Существенное влияние оказывают физико-механические свойства горных пород на различные технологические процессы производства и от них зависят параметры и производительность горных машин, производственная мощность предприятия, его отдельных забоев и участков, безопасность ведения работ и т.д.

Рельеф местности predetermined способ вскрытия месторождения, места складирования вскрышных пород, а также выбор направления развития горных работ.

Горизонтальная мощность залежи обуславливает выбор технологического комплекса оборудования. При небольшой мощности используют мобильные выемочно-погрузочные комплексы, а на крупных - мощное оборудование.

Климатические условия района где разрабатывается месторождение влияют на режим работы карьера.

Так же выбор технологии разработки месторождений зависит от технических технологических, экономических и организационных факторов.

К технологическим факторам можно отнести производительность карьера по горной массе, которая влияет на выбор параметров горнотранспортного оборудования (емкости ковша экскаватора, грузоподъемность транспортных средств). В некоторых случаях учитывают требования по рекультивации нарушенных земель при производстве горных работ.

Если технологические условия разработки месторождения не совпадают с конкретными условиями, это приводит к снижению эффективности работы горнодобывающего предприятия.

Как уже отмечалось, нарушение природного ландшафта происходит как от создания горных выработок, так и от размещения отходов производства (вскрышных

пород) на площадях, размеры которых, как правило, превышают размеры горных выработок. Поэтому, в основе рациональной технологии открытой разработки месторождений известняка, обеспечивающей эффективное использование георесурсов, должен лежать принцип, позволяющий максимально снизить объемы горных работ и площади нарушаемых земель, обеспечивающий освоение отходов производства и создающий принципиальную возможность использования техногенных горнотехнических сооружений после разработки месторождения с высокой эффективностью.

## **5.2 Анализ вариантов технологии разработки месторождений известняка при использовании выработанных пространств карьеров в строительстве**

Анализ, условий разработки большинства месторождений известняка, свидетельствует о следующем:

- имеют простое строение и чаще всего, не обводнены;
- залегают на небольшой глубине;
- находятся в основном, вблизи центров агломераций и крупных промышленных центров;
- располагаются, как в равнинной, так и гористой местности;
- характеризуются, относительно небольшой пространственной вариацией прочностных свойств и небольшой мощностью вскрышных пород.

Исходя из выше изложенного, при разработке таких месторождений применяют простую технологию, которая осложняется требованиями, предъявляемыми к ограничению воздействия на окружающую среду, а также необходимостью обеспечения природной монолитности известняка за пределами границ разработки. Кроме того, стоимость товарного известняка зависит от его качества, в частности от крупности дробления и содержания мелких частиц в раздробленной породе. В свою очередь, равномерность дробления и выход мелких частиц predeterminedены не только

строением месторождения, а также и характером воздействия на известняк в процессе его добычи. Все это осложняется высокой удельной кадастровой стоимостью земель, отводимых для разработки месторождений.

Помимо перечисленных требований принятая технология разработки, должна обеспечивать формирование выработанного пространства с требуемым качеством поверхности откосов, заданными размерами, а также формой при минимальных затратах на его создание. Выше сказанные работы по созданию выработанного пространства, должны осуществляться одновременно с производством добычных работ.

Следовательно, варианты технологии разработки могут отличаться только способами подготовки пород к выемке и используемыми при этом техническими средствами. В соответствии, с современным состоянием развития горного оборудования все предлагаемые технологические схемы разработки месторождений известняка можно условно разделить на буровзрывные (**БВР**), безвзрывные (**КМиСК**) и комбинированные (**КС**).

Модификации технологических схем, в соответствии со способами подготовки пород к выемке, проиллюстрированы блок-схемами, приведенной на рисунках 5.1 и 5.2.

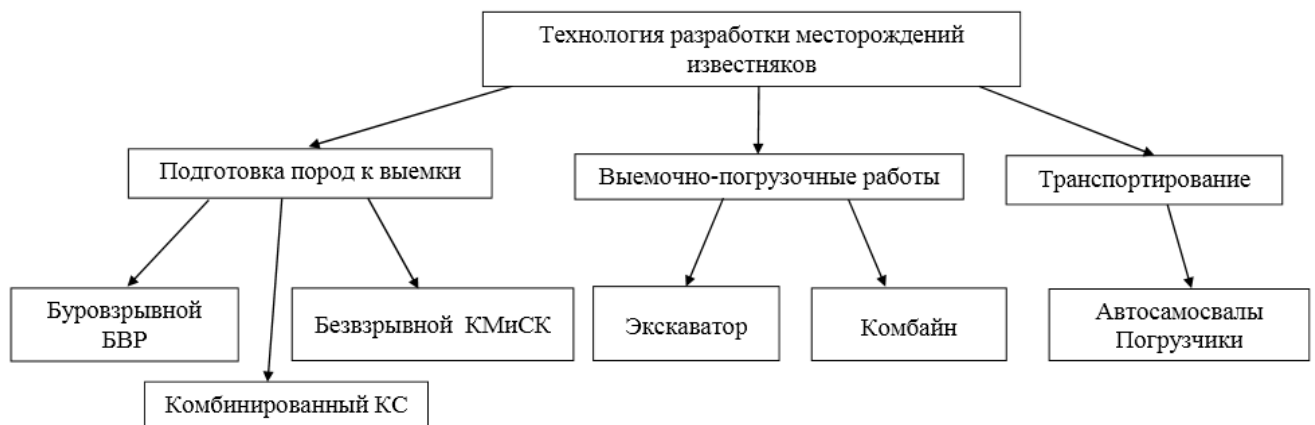


Рисунок 5.1 – Блок-схема структуры технологии разработки месторождений известняка

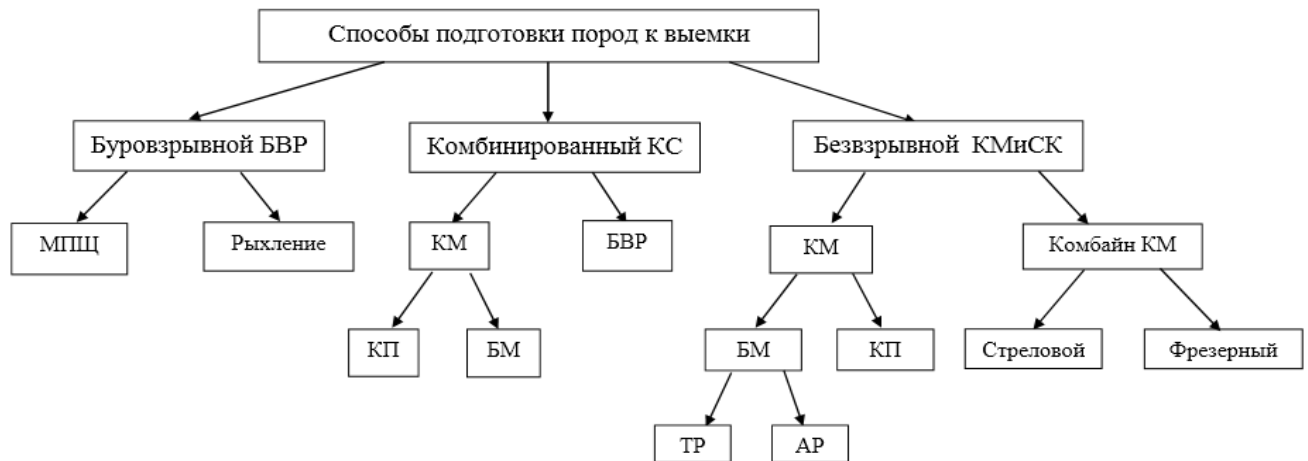


Рисунок 5.2 – Блок-схема разделения способов подготовки известняка к выемке: МПЩ – контурная отбойка методом предварительного щелеобразования; КМ – камнерезные машины; БВР – буровзрывные работы на рыхление; КП – канатно-алмазные пилы; БМ – баровые машины; ТР – баровые машины с твердосплавными резцами; АР – баровые машины с алмазными резцами

Взрывные работы оказывают наиболее значительное отрицательное влияние на окружающую среду, в связи с этим варианты технологии разработки месторождений известняка должны минимизировать возможность их применения.

Широкое распространение получили стреловые комбайны при разработке месторождений с невысокой прочностью пород на одноосное сжатие. Опыт их применения свидетельствует, что для условий известняков во всем диапазоне свойств можно рекомендовать тяжелые стреловые комбайны.

Компания «VOEST-ALPINE Bergtechnik» (VAB), (Австрия) выпускает несколько серий комбайнов (таблица 5.1) для работы в широком диапазоне прочности пород [83]:

- серия «Alpine Miner» (АМ) – комбайны (7 типоразмеров) для проведения выработок в породах мягких и средней крепости;
- серия «Alpine Hardrock Miner» (АНМ) – комбайны для работы в крепких породах;
- серия «Alpine Tunnel Miner» (АТМ) – для строительства тоннелей (3 типоразмера) в породах различной крепости.

Таблица 5.1 – Технические характеристики некоторых моделей проходческих комбайнов фирмы «Voest Alpine» [83]

Тип комбайна	Масса, т	Габариты, мм (длина × высота × ширина)	Общая мощность, кВт	Мощность двигателя исполнительного органа, кВт	Скорость резания, м/с	Крепость пород, МПа
AM45	20	7700x1200x(2000-3500)135	135	75	-	До 60
AM50	28	8400x1825x2105	226	130	-	30-50
AM65	40	11650x(1530/1680)x2250	300	175	3,6	До 80
AM75	49,5	11800x1630x3500	330	200	3,5-5,0	До 100
AM85	103	14400x2950x2800	660	325	-	До 120
АНМ105	110	17200*х3185х2600	555	300	-	До 120
АТМ75	55-58	15300х2560х3500	350	200	-	-
АТМ50	27	8950х1830х(2000/2500/3000)**	196/228	100/132	-	-

Примечание: \*С учетом длины поворотного ленточного конвейера, \*\*Ширина по погрузочному столу

Все большее внимание в мире уделяется целенаправленному использованию выработанных пространств карьеров для размещения объектов жизнедеятельности. Для использования выработанного пространства в строительных целях, поверхность откосов должна быть ровной, и иметь углы близкие к 90°, тогда будет сокращаться время на его подготовку к дальнейшему использованию. Поэтому предлагается при любой технологии ведения горных работ, придавать требуемый профиль с помощью камнерезных машин.

### **Вариант 1 (БВР)**

При производстве буровзрывных работ должны обеспечиваться следующие требования, а именно минимальный выход негабаритов, требуемая степень дробления, при этом формирование развала взорванной горной массы с соблюдением проектных параметров, минимальное значение заколов, создание достаточного объема подготовленной горной массы, обеспечение безопасности и экономичности работ.

Буровзрывные работы имеют весьма существенные недостатки, к которым можно отнести: значительное сейсмическое воздействие на законтурный массив, опасность производства горных работ, негативное влияние на окружающую среду.

Одновременно при разработке закарстованных массивов, месторождения известняка относятся к таким, наблюдается высокий выход негабаритов, при этом качество взрывания низкое. Взрывную отбойку ведут скважинными зарядами рыхления и методом предварительного щелеобразования (МЩ). Принципиальная схема производства буровзрывных работ приведена на рисунке 5.3.

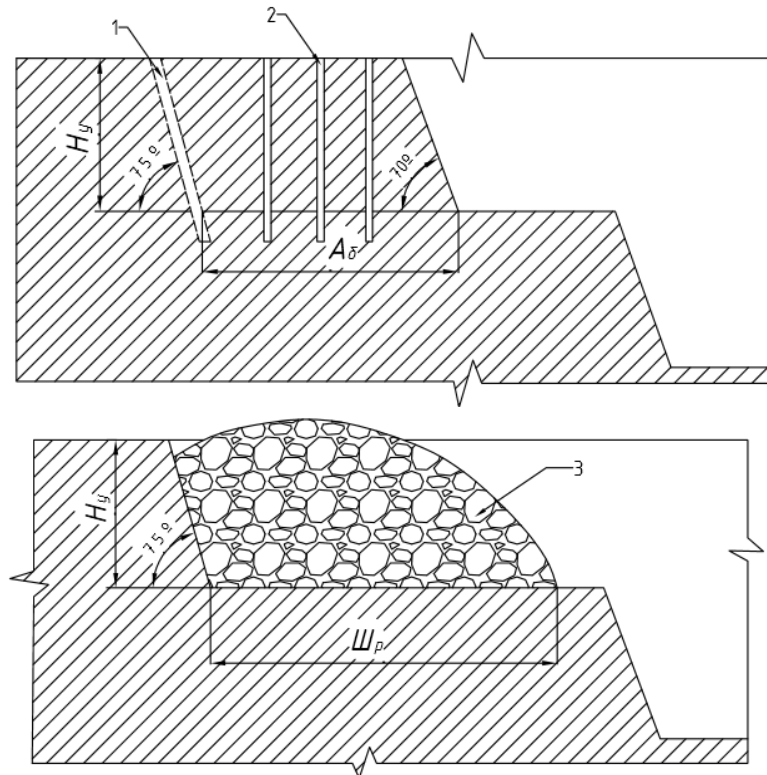


Рисунок 5.3 – Принципиальная технологическая схема добычи известняка буровзрывных способом с использованием МЩ: 1 – контурный ряд скважин; 2 – скважина рыхления; 3 – развал взорванной горной массы

При взрывных работах породы разрушаются не только в требуемом направлении, а также за пределами формируемого откоса. Ширина отдельных зон нарушения зависит от способа отбойки, геологического строения и свойств породы. При взрывании скважинных вертикальных зарядов трещины на верхней площадке уступа распространяются до 30м, а в некоторых случаях и 60м от последнего ряда скважин, а их ширина может достигать 0,1 – 0,6м, длина - 10 – 15м [84]. Нарушенность распространяется не только по фронту взрыва и его подошве, но и в стороны, где она в 2–4 раза меньше чем в тылу взрыва. Нарушение массива трещинами обусловлено фактически раскрытием старых трещин или соединением несквозных

трещин. Степень нарушенности законтурного массива должна быть минимальной. В противном случае, со временем будут обрушаться уступы и выполаживаться борт карьера [60]. Особенно это характерно для известняков (рисунок 5.4).



Рисунок 5.4 – Вид борта известнякового карьера при производстве буровзрывных работ без контурной отбойки

Ограничить влияние взрыва на законтурный массив можно с помощью защитного слоя. Это слой, расположенный между плоскостями контура и откола, который может быть отбит способом, не разрушающим основной законтурный массив. Наилучшим является такое состояние массива, когда защитный слой можно исключить, то есть плоскости контура и откола совместить [60]. Это можно достичь при помощи контурного взрывания методом предварительного щелеобразования (рисунок 5.5).

Для расчета мощности защитного слоя используют формулу [85]

$$R_{ov0} = \left( \frac{18 \cdot k_p \cdot \gamma}{k_0 \cdot v_{kp}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{p}{a}, \text{ м}; \quad (5.1)$$

$$R_{ov1} = 0,35 \cdot R_{ov0}; \quad R_{ov2} = 0,12 \cdot R_{ov0}; \quad R_{ov3} = 0,09 \cdot R_{ov0},$$

где  $k_p$  – коэффициент, зависящий от трещиноватости пород;  $k_0$  – коэффициент, учитывающий способ взрывания (с контурным взрыванием или без);  $v_{kp}$  – критическая скорость колебаний, мм/с;  $p$  – вместимость ВВ в скважине, кг/м;  $a$  – расстояние между скважинами;  $\gamma$  – плотность породы.



Индекс  $0$  в символе  $R$  относится к точкам, находящимся от поверхности на глубине 5м перпендикулярно к плоскости заряда, индекс  $1$  – к точкам расположенным глубине более 5м, индекс  $2$  – к точкам - на уровне дна скважины; индекс  $3$  – на уровне ниже забоя скважины [85].



Рисунок 5.5 – Вид откоса, сформированного контурным взрыванием методом предварительного щелеобразования в сланцах 50 лет назад

Расчетная зависимость мощности защитного слоя от предела прочности пород на одноосное сжатие для буровзрывной отбойки с контурным взрыванием и без него на глубине до 5м от поверхности приведена на рисунке 5.6.

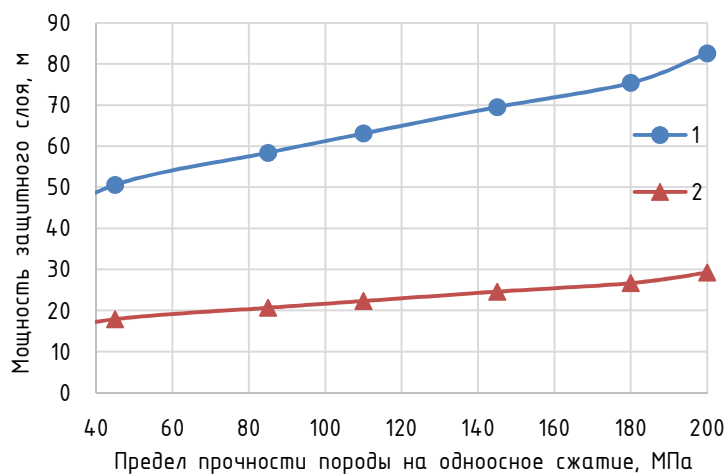


Рисунок 5.6 – Влияние прочности известняка на мощность защитного слоя при буровзрывных работах: 1 – без контурного взрывания; 2 – при контурном взрывании МПЩ

В рассмотренных вариантах без и с контурным взрыванием МПЩ природная монолитность законтурного массива сохраняется частично (см. рисунок 5.6), это в последствии приводит к осыпанию откосов и выполаживанию борта карьера. Чтобы выработанное пространство карьера в дальнейшем было использовано для размещения различных объектов жизнедеятельности человека необходимо его дополнительно подготовить, поэтому нарезают вертикальные уступы (рисунок 5.7).

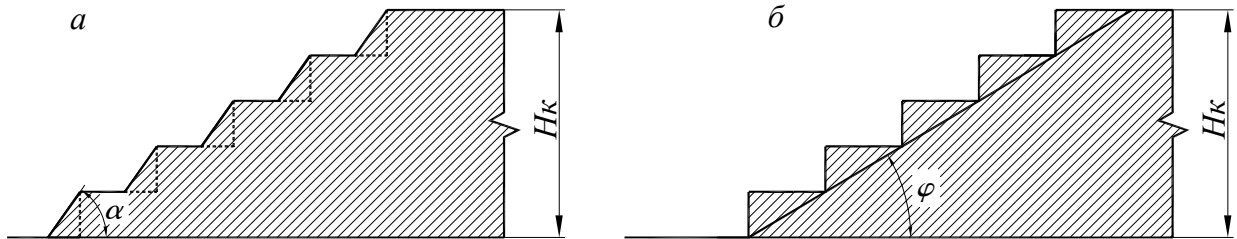


Рисунок 5.7 – Схема нарезки вертикальных уступов на нерабочем борту карьера при разработке месторождения известняка с буровзрывной отбойкой без контурного взрывания: а – исходное состояние; б – после нарезки вертикальных уступов

Для этого, откос на всю высоту пригружают насыпью (рисунок 5.8), затем вдоль него проходят вертикальные реза, расстояние между которыми равно глубине горизонтального реза. После этого насыпь понижают на глубину реза и подрезают массив в горизонтальной плоскости; отделенные объемы породы дробят шпуровыми зарядами или бутобоем. И так повторяют до формирования вертикального уступа.

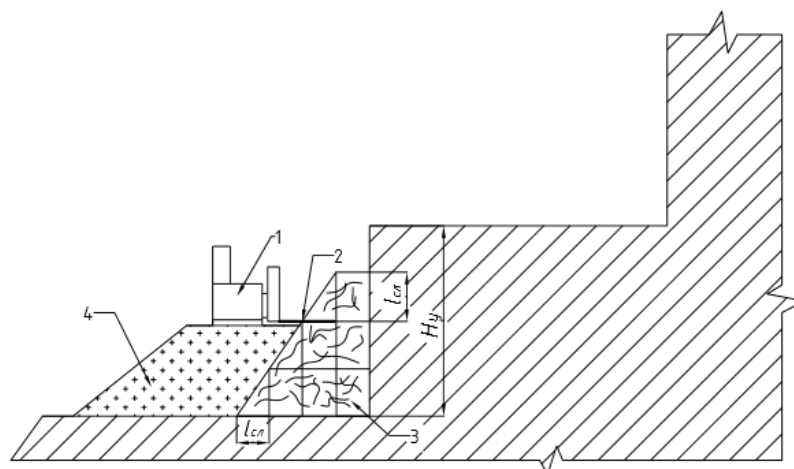


Рисунок 5.8 – Принципиальная схема нарезки вертикальных уступов: 1 – баровая машина; 2 – горизонтальный пропилен; 3 – отделяемые объемы; 4 – насыпь

### **Вариант 2 (КМиСК)**

Безвзрывная технология основана на комбинации стреловых комбайнов и камнерезных машин (баровых или канатно-алмазных пил). Причем, камнерезные машины используются только при нарезке вертикальных уступов и площадок на конечном контуре карьера. Конструктивные особенности камнерезных машин позволяют формировать выработанное пространство заданной формы, наиболее полно удовлетворяющей требования строителей. Принципиальную возможность соблюдения их демонстрирует опыт разработки месторождений облицовочного камня (рисунок 5.9).

При использовании канатно-алмазных пил (рисунок 5.10) площади резов могут достигать 150-200 м, обеспечивая нарезку уступов высотой 10-15 метров и горизонтальных площадок шириной 10-20 м.

а



б



в



г



Рисунок 5.9 – Варианты выработанных пространств карьеров облицовочного камня



Рисунок 5.10 – Канатно-алмазная пила: а-общий вид; б – в забое

При использовании баровых машин, имеющих ряд технологических преимуществ (рисунок 5.11 и 5.12), глубина реза или пропила ограничена длиной бара и углом его наклона, зависящего от прочности известняка. На основе изучения опыта использования баровых машин выявлена соответствующую зависимость, приведенная на рисунке 5.13.

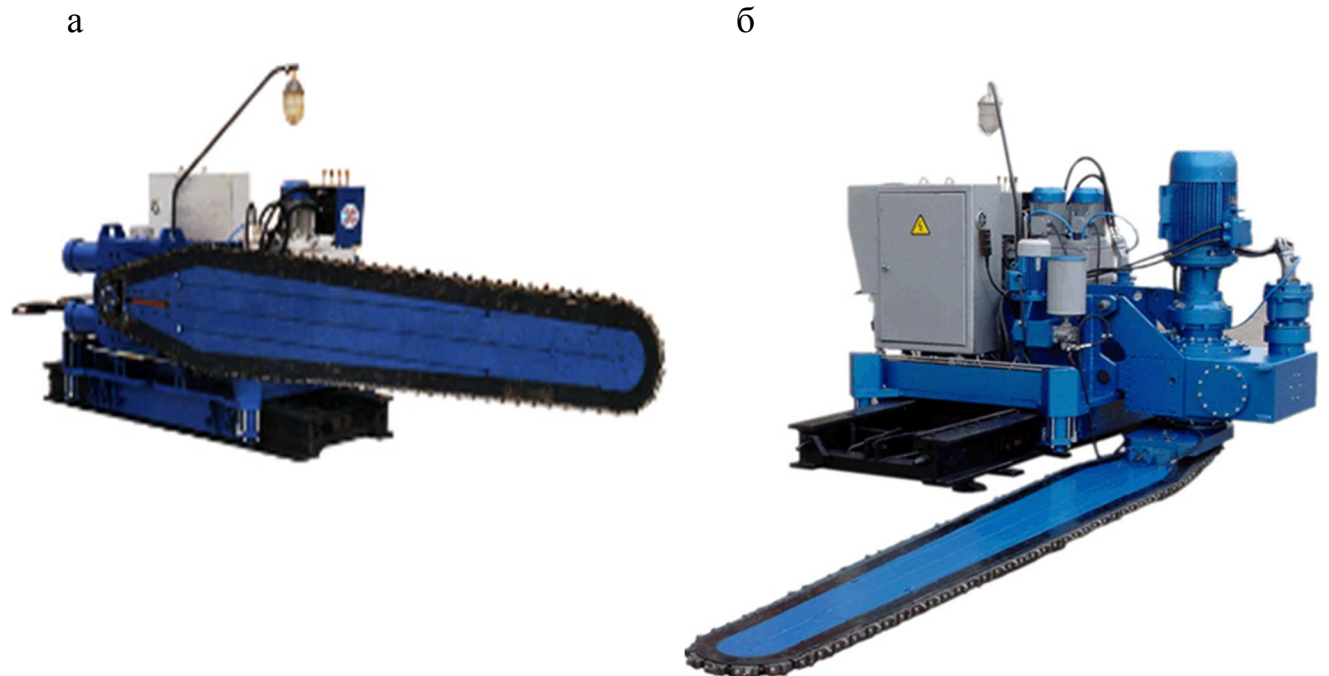


Рисунок 5.11 – Баровые машины для выполнения вертикальных (а) и горизонтальных (б) пропилов



а



б



в



г



Рисунок 5.12 – Технологические возможности баровых машин для формирования выработанных пространств: а – запиливание; б – горизонтальное пиление; в – проходка вертикального пропила; г – нарезка блоков

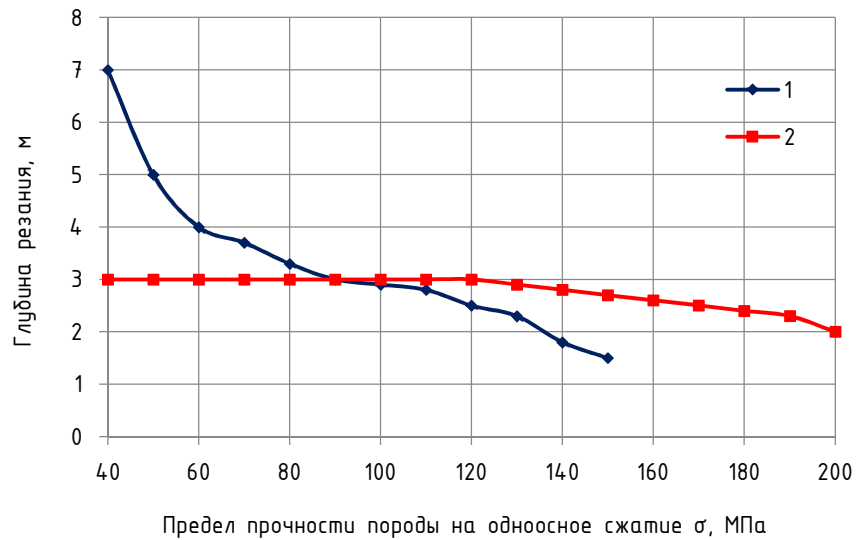


Рисунок 5.13 – Влияние прочности известняка на глубину резания баровой камнерезной машины: 1 – с твердосплавными резцами; 2 – с алмазными резцами

Вместе с тем в породах с невысокой прочностью, например в ракушечниках или травертинах, длина бара может обеспечивать нарезку уступов высотой 8 м (рисунок 5.14).



Рисунок 5.14 – Нарезка 10-метрового уступа при разработке месторождения травертина

Для расчета сменной производительности баровых машин были обработаны статистические данные по их использованию на различных месторождениях облицовочного камня СНГ, собранные и обобщенные в работе [61]. В результате их обработки получены уравнения для вычисления сменной производительности баровой машины:

*с алмазными резцами*

$$S_{см} = 163,6 \cdot e^{-0,008 \cdot \sigma}, \text{ м}^2/\text{см}; \quad (5.1)$$

*с твердосплавными резцами*

$$S_{см} = 261,4 \cdot e^{-0,023 \cdot \sigma}, \text{ м}^2/\text{см}. \quad (5.2)$$

Расчет себестоимости резания выполнен с учетом текущих цен на расходные материалы, по следующим статьям затрат: электроэнергия, амортизационные отчисления, ремонт оборудования, заработная плата, стоимость замены изношенных резцов. В результате математической обработки расчетных данных получены следующие уравнения для расчета удельных затрат на резание баровой машиной:

*с алмазными резцами*

$$C_p = 93,3 - 0,89 \cdot \sigma + 0,008 \cdot \sigma^2, \text{ руб./м}^2; \quad (5.3)$$

*с твердосплавными резцами*

$$C_p = 268,8 - 7,5 \cdot \sigma + 0,063 \cdot \sigma^2, \text{ руб./м}^2. \quad (5.4)$$

Аналогичным образом установлены соответствующие зависимости для канатно-алмазных пил:

$$S_{см} = 3637 \cdot \sigma^{-0,53}, \text{ м}^2/\text{см}; \quad (5.5)$$

$$C_p = 74,35 + 0,16 \cdot \sigma + 0,0042 \cdot \sigma^2, \text{ руб./м}^2, \quad (5.6)$$

где  $\sigma$  – предел прочности породы на одноосное сжатие, МПа.

В настоящее время получили распространение на горнодобывающих предприятиях Европы стреловые горные комбайны Alpine AM105, которые также могут использоваться для разработки месторождений известняка открытым способом

(рисунок 5.15). Конструкция машины позволяет работать в породах с изменяющейся крепостью (от рыхлых до абразивных) что в ряде случаев, исключает затраты буровзрывные работы, и вследствие чего снижается неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Благодаря регулированию скорости резания (вручную или автоматически) уменьшаются энергопотребление и износ режущего инструмента. В особо сложных горно-геологических условиях стандартная режущая головка может быть заменена на телескопическую. Дополнительное преимущество Alpine AM105 – лучшее качество обработки нижней части забоя за счет снижения вибрации машины. Модульная конструкция обеспечивают высокий уровень сервиса за счёт легкости и быстроты монтажа и демонтажа, а также простота обслуживания [83]. Технологические характеристики комбайна представлены в таблице 5.2.



Рисунок 5.15 – Горный комбайн марки Alpine AM105

Таблица 5.2 – Краткая характеристика комбайна Alpine AM105

Наименование параметра	Значение
Эксплуатационная масса, т	115
Мощность двигателя, кВт	555
Ширина конвейерной ленты, мм	600
Максимальная производительность конвейерной ленты, м <sup>3</sup> /ч	300
Максимальная высота резания, м	5,8
Максимальная ширина резания, м	8,5
Глубина резания, м	0,48
Скорость передвижения, м/мин	0-15



Зависимость расчетной производительности комбайна от прочности породы имеет следующий вид:

$$Q_{см} = 2531,4 \cdot e^{0,015 \cdot \sigma}, \text{ м}^3/\text{см}. \quad (5.7)$$

Расчет себестоимости выемки горным комбайном выполнен с учетом затрат по следующим статьям: электроэнергия, амортизационные отчисления, ремонт оборудования, заработная плата, стоимость замены изношенных резцов. Причем они увязаны с прочностью породы. Соответствующая зависимость себестоимости выемки горным комбайном от предела прочности породы на одноосное сжатие имеет вид

$$C_k = 40,6 - 0,58 \cdot \sigma + 0,0091 \cdot \sigma^2, \text{ руб./м}^3; \quad (5.8)$$

При разработке месторождения камнерезными машинами в комбинации с комбайнами уступ по высоте делят на выемочные слои, высота которых равна рациональной глубине резания камнерезной машины. Комбайн вынимает породу в пределах каждого слоя, а вертикальный откос нерабочего уступа формируют камнерезной машиной. Дополнительно, с её помощью планируют площадку нерабочего уступа. В результате нарезают вертикальные уступы на конечном контуре карьера [60]. Принципиальная схема разработки с использованием данного комплекса показана на рисунке 5.16.

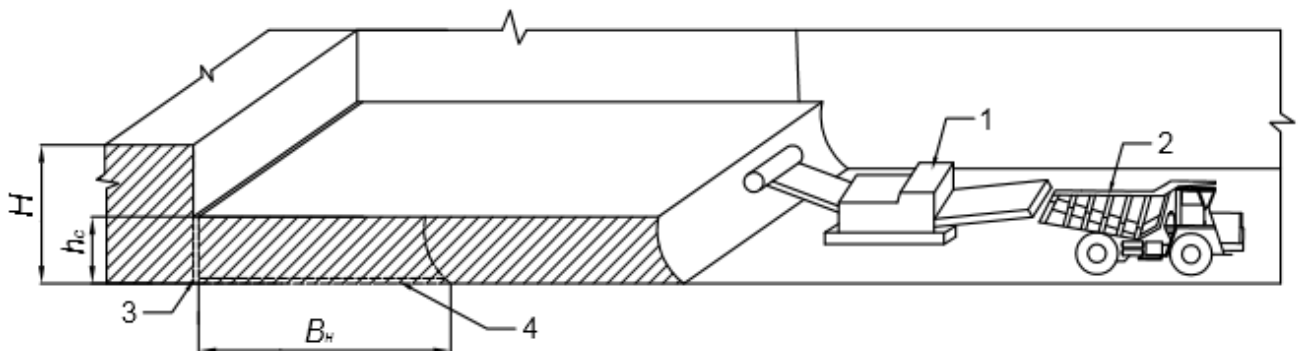


Рисунок 5.16 – Принципиальная схема разработки месторождения известняка при безвзрывной технологии (*КМуСК*): 1 – стреловой комбайн; 2 – автосамосвал; 3 – вертикальный разрез; 4 – горизонтальный разрез;  $B_n$ ;  $H$  и  $h_c$  – ширина площадки на конечном контуре карьера, высота уступа и обрабатываемого слоя

**Вариант 3 (КС).** Комбинация способов подготовки пород к выемке предусматривает рыхление всего объема пород буровзрывным способом, а нарезку откосов и площадок нерабочих уступов, требуемой формы – камнерезными машинами барового типа или канатно-алмазными пилами (рисунок 5.17 и 5.18).

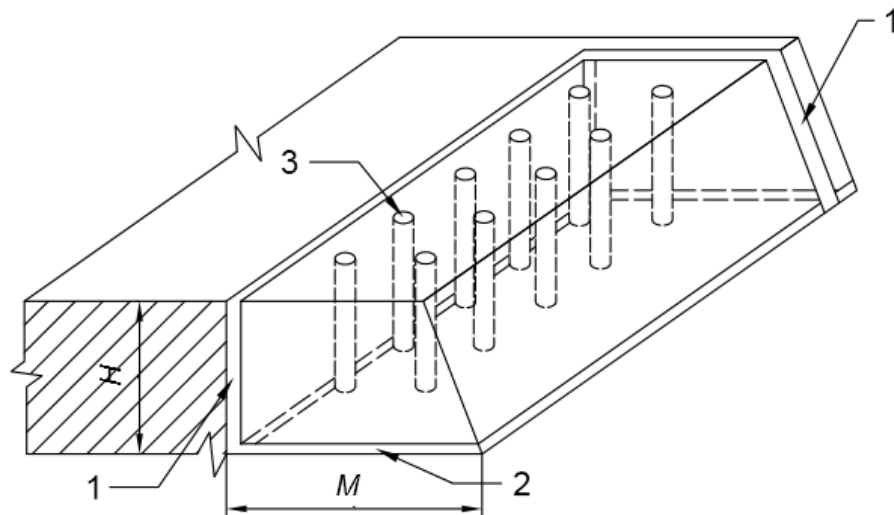


Рисунок 5.17 – Схема разработки месторождения известняка комбинацией буровзрывной отбойки с баровыми камнерезными машинами: 1 – вертикальный рез; 2 – горизонтальный рез; 3 – скважины рыхления;  $H$  – высота уступа;  $M$  – ширина защитного слоя

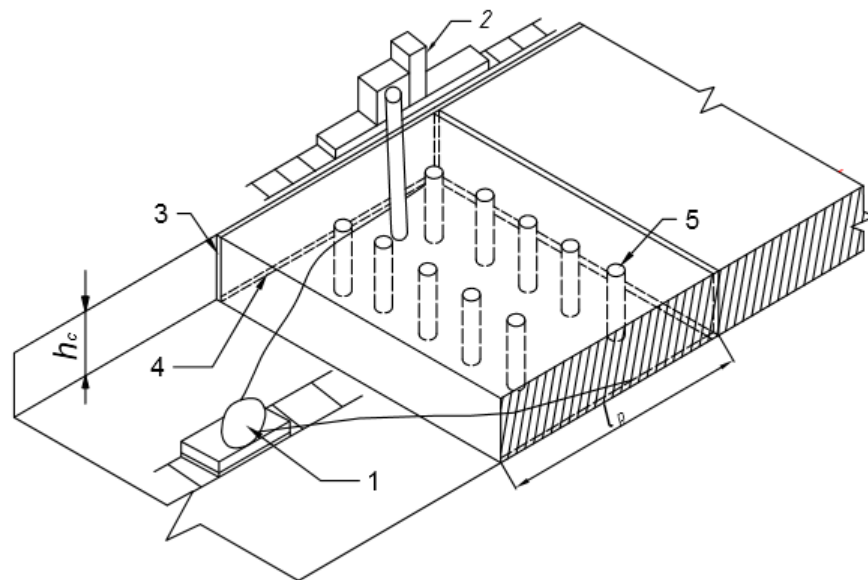


Рисунок 5.18 – Схема разработки месторождения известняка комбинацией буровзрывной отбойки с канатными пилами и баровыми машинами: 1 – канатная пила; 2 – баровая машина; 3 – вертикальный рез; 4 – горизонтальный рез 5 – скважины рыхления;  $h_c$  – высота слоя

### **5.3 Обоснование условий эффективного применения вариантов технологии разработки месторождений известняка при последующем использовании выработанного пространства в строительстве**

Эффективность выбранного варианта технологии разработки месторождений известняка, обусловлена геологическими характеристиками месторождения, климатическими условиями, рельефом местности, расположением относительно центров агломераций.

Формирование выработанного пространства требуемой формы и размеров позволяет сократить затраты и время при его использовании в строительстве. Очевидно, что этому наиболее удовлетворяют технологические схемы, основанные на безвзрывных способах подготовки пород к выемке. Вместе с тем, при их использовании увеличение прочности пород приводит к резкому росту затрат на горные работы. Поэтому, при выборе рациональной технологической схемы необходимо учитывать в совокупности затраты на горные работы и на строительство после завершения разработки месторождения. Это предопределяет целесообразность поиска условий применения вариантов технологических схем, соответствующих в совокупности минимуму затрат на горные работы и на подготовку выработанного пространства к строительству. Причем, здесь бесспорна ситуация, при которой, чем выше затраты на горные работы, тем меньше затраты на последующую подготовку и использование выработанного пространства при строительстве.

Анализ условий разработки месторождений и существующего оборудования, которое можно использовать для их разработки, показал, что все технологические схемы принципиально отличаются способом подготовки пород к выемке. В соответствии с этим их можно подразделить на буровзрывные, безвзрывные и комбинированные. Характеристика соответствующих вариантов приведена выше (п.5.2).

**Вариант 1 (БВР).** В данном случае основной объем работ выполняют буровзрывным способом зарядами рыхления, а при подходе к проектному контуру нерабочего борта карьера применяют буровзрывные работы методом предварительного щелеобразования (рисунок 5.3).

**Вариант 2 (КМуСК).** При безвзрывной технологии выемочно-погрузочные работы предложено выполнять стреловыми комбайнами, а нарезку откосов и площадок нерабочих уступов, требуемой формы – камнерезными машинами барового типа или канатно-алмазными пилами (рисунок 5.16).

**Вариант 3 (КС).** Комбинация способов подготовки пород к выемке предусматривает рыхление всего объема пород буровзрывным способом, а нарезку откосов и площадок нерабочих уступов, требуемой формы – камнерезными машинами барового типа или канатно-алмазными пилами (рисунок 5.17, 5.18).

В качестве экономического критерия предложено использовать величину удельных затрат на создание выработанного пространства, требуемых форм и размеров, вычисляемых по формуле

$$Ц = \frac{C_1 \cdot V_1 + C_2 \cdot V_2 + C_3 \cdot S'_{пб} + C_4 \cdot S''_{пб}}{V_1 + V_2}, \text{руб./м}^3; \quad (5.9)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – соответственно удельные затраты на подготовку и выемку основного и объема работ по формированию нерабочих уступов требуемой формы и размеров, руб./м<sup>3</sup>;  $V_1$  и  $V_2$  – соответственно основной и объем горных работ по формированию нерабочих уступов требуемой формы и размеров, м<sup>3</sup>;  $C_3$  и  $C_4$  – удельные затраты на нарезку откосов и площадок нерабочих уступов требуемой формы и приведение их в состояние, пригодное для строительства, руб./м<sup>2</sup>;  $S'_{пб}$  и  $S''_{пб}$  – площадь нарезки откосов и площадок нерабочих уступов требуемой формы и размеров, м<sup>2</sup>.

Для определения параметров  $V_1$ ,  $V_2$  и  $S'_{пб}$ ,  $S''_{пб}$  воспользуемся схемами, приведенными на рисунке 5.19. В соответствии с которыми для карьера круглой формы данные параметры можно рассчитать по следующим аналитическим формулам:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot H [(Ш_в - 2M)^2 + (Ш_д - 2M)^2]}{8}, \text{м}^3; \quad (5.10)$$

$$V_2 = V_0 - V_1 = \frac{\pi \cdot H \cdot (Ш_в^2 + Ш_д^2)}{8} - V_1, \text{м}^3; \quad (5.11)$$

$$S'_{пб} = \frac{\pi \cdot H \cdot (Ш_в + Ш_д)}{2}, \text{м}^2; \quad (5.12)$$

$$S''_{пб} = \frac{\pi \cdot H \cdot ctg \alpha \cdot (Ш_в + Ш_д)}{2}, \text{м}^2. \quad (5.13)$$

где  $H$  – глубина карьера, м;  $Ш_в$  и  $Ш_д$  – ширина карьера по верху и дну, м;  $M$  – ширина зоны формирования выработанного пространства заданной формы и требуемого качества, м;  $\alpha$  – угол откоса нерабочего борта карьера, град.

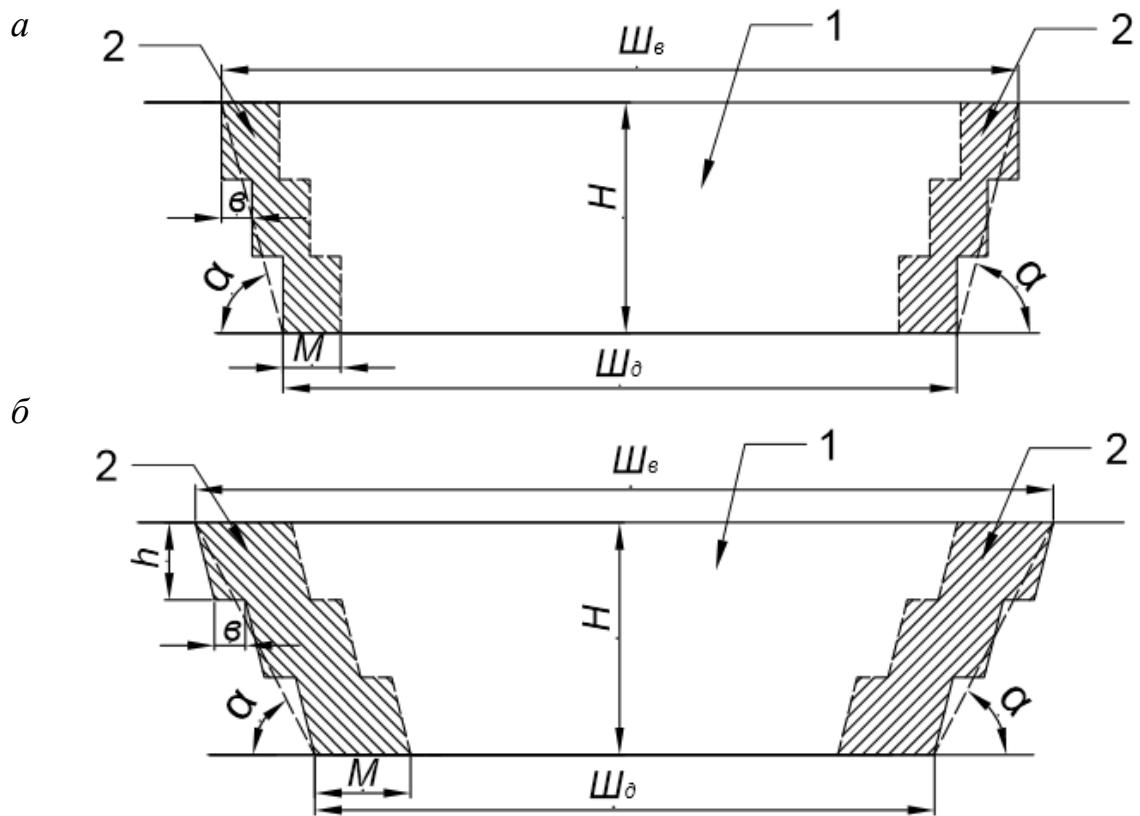


Рисунок 5.19 – Схемы к расчету объемов горных работ по формированию поверхности выработанного пространства безвзрывной (а) и буровзрывной технологией (б): 1 – основное выработанное пространство; 2 – выработанное пространство при формировании нерабочих уступов требуемой формы и размеров

Совместный анализ формул (5.9) – (5.13) показывает, что результирующее значение критерия выбора рационального варианта технологии создания выработанного пространства в основном зависит от технологии горных работ ( $i$ ), средней площади карьера ( $S$ ), и прочности известняков ( $\sigma$ ).

$$\Psi = f(i; S; \sigma), \quad (5.14)$$

Причем, увеличение площади обуславливает изменение величины  $\Psi$ , которая возрастает или уменьшается при соответствующем варьировании прочности. Данное обстоятельство позволяет установить вид следующей зависимости  $S = f(\sigma; i)$ , которая для оцениваемого варианта технологии ограничивает условия его эффективного использования. С учетом этого поиск рациональных условий применения технологических схем осуществляли, используя принцип, показанный на графиках (рисунок 5.20).

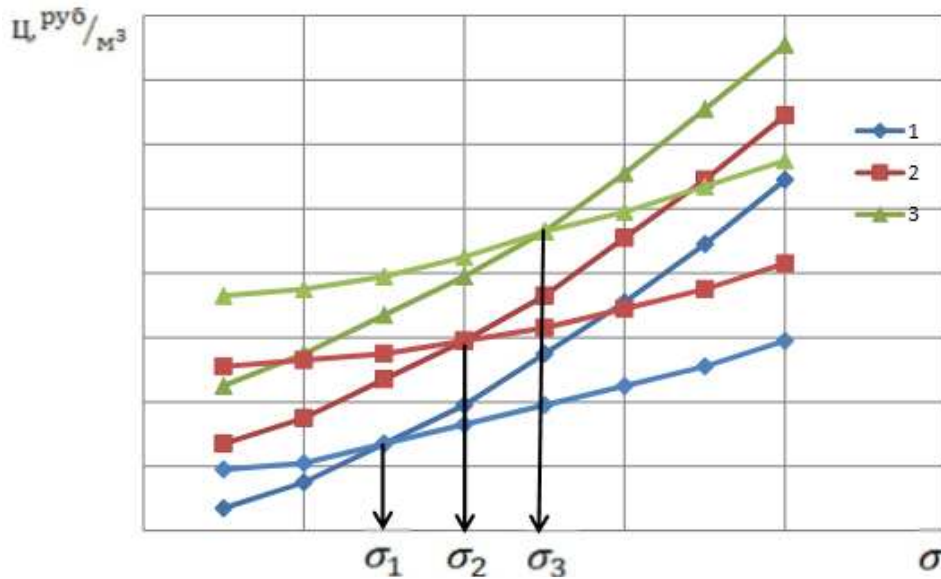


Рисунок 5.20 – Влияние прочности известняка ( $\sigma$ ) и средней площади карьера ( $S$ ) на величину удельных затрат для создания выработанного пространства: 1, 2, 3 – графики для соответствующих значений площадей карьеров ( $S_1 > S_2 > S_3$ )

Для численных исследований влияния средней площади карьера и прочности известняка на величину критерия, вычисляемого по формуле (5.9) в программной среде Excel была разработана специальная программа. С её помощью установили зависимости средней площади карьера от прочности известняка, определяющих границу эффективного использования вышеперечисленных технологических схем и их модификаций. Полученные при этом результаты представлены в таблице 5.3 и соответствующая диаграмма, на рисунке 5.21.

Таблица 5.3 – Условия рационального применения технологических схем разработки месторождений известняка

Средняя площадь карьера, га	Предел прочности пород на одноосное сжатие, МПа						
	Номер технологической схемы*)						
	1	2	3	4	5	6	7
0,8	80	50	70	90	100	110	120
1,6	85	70	75	95	105	115	130
2,4	90	80	85	100	110	120	140
3,2	95	90	95	105	115	125	145
4	105	100	105	110	120	130	150
4,8	110	105	110	115	125	140	155
5,6	120	110	115	120	130	150	160

\*) Примечание:

1. Баровые машины с алмазными резами и стреловые комбайны;

2. Баровые машины с твердосплавными резцами и стреловые комбайны;
3. Баровые машины с твердосплавными резцами, канатно-алмазные пилы и стреловые комбайны;
4. Баровые машины с алмазными резцами, канатно-алмазные пилы и стреловые комбайны;
5. Баровые машины с твердосплавными резцами, канатно-алмазные пилы и буровзрывные работы;
6. Баровые машины с алмазными резцами, канатно-алмазные пилы и буровзрывные работы;
7. БВР скважинами рыхления и на проектном контуре карьера - методом предварительного щелеобразования.

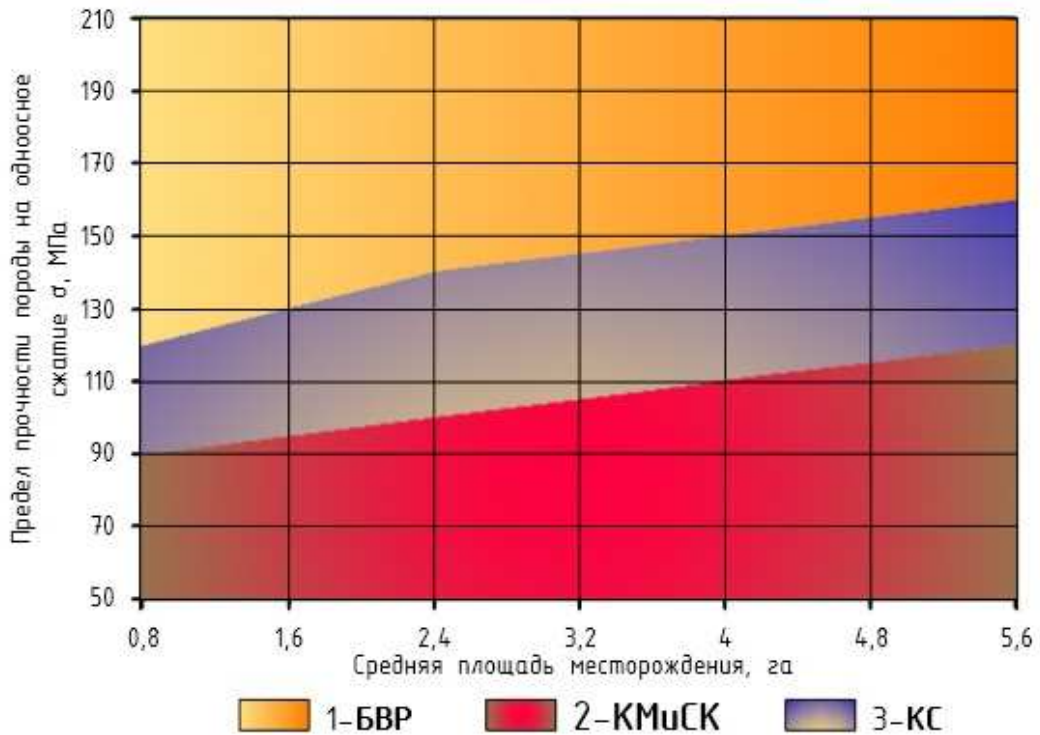


Рисунок 5.21 – Условия рационального применения технологических схем разработки месторождений известняка: 1-БВР; 2-КМиСК; 3-КС

Границы эффективного использования модификаций безвзрывных технологий показаны на рисунке 5.22, а комбинированных - на рисунке 5.23. Графики эффективного использования всех предложенных технологических схем (таблица 5.3) показаны на рисунке 5.24.

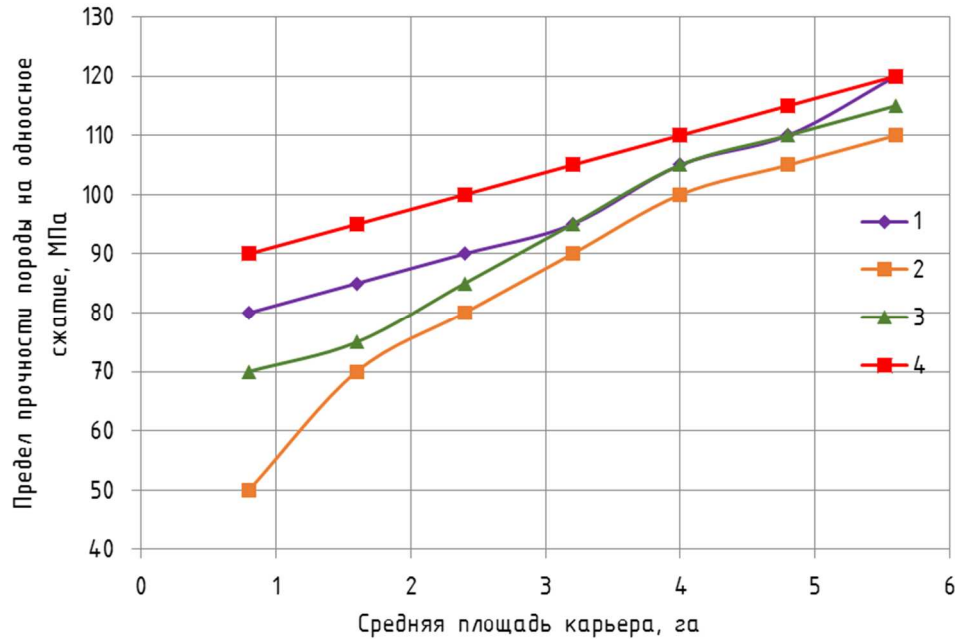


Рисунок 5.22 – Границы эффективного использования модификаций безвзрывных технологий: 1 - баровые машины с алмазными резцами совместно со стреловыми комбайнами; 2 - баровые машины с твердосплавными резцами совместно со стреловыми комбайнами; 3 - баровые машины с твердосплавными резцами и канатно-алмазные пилы совместно со стреловыми комбайнами; 4 - баровые машины с алмазными резцами и канатно-алмазные пилы совместно со стреловыми комбайнами

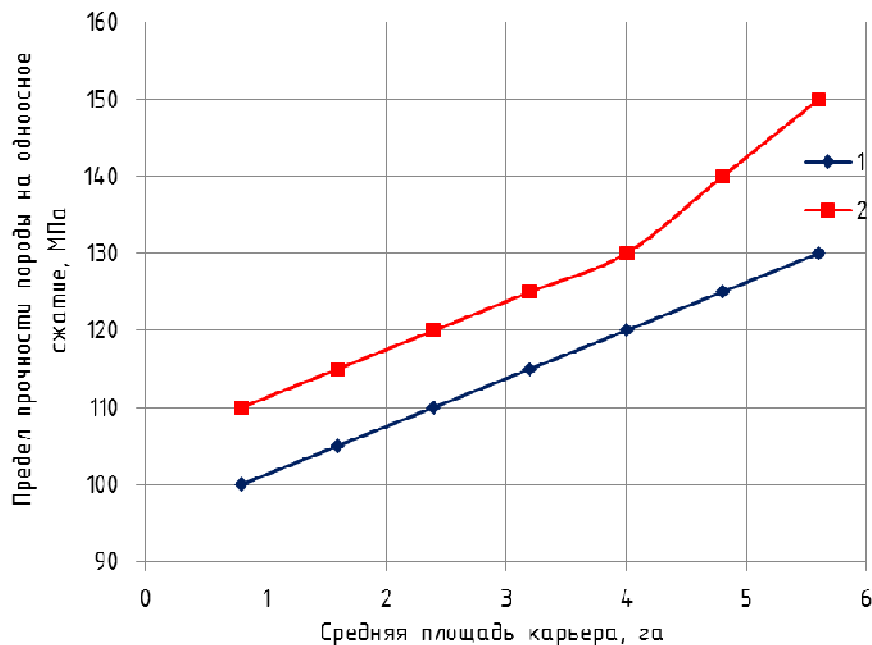


Рисунок 5.23 – Границы эффективного использования модификаций комбинированной технологии: 1 – баровые машины с твердосплавными резцами и канатно-алмазные пилы в сочетании с буровзрывными работами; 2 - баровые машины с алмазными резцами и канатно-алмазные пилы в сочетании с буровзрывными работами



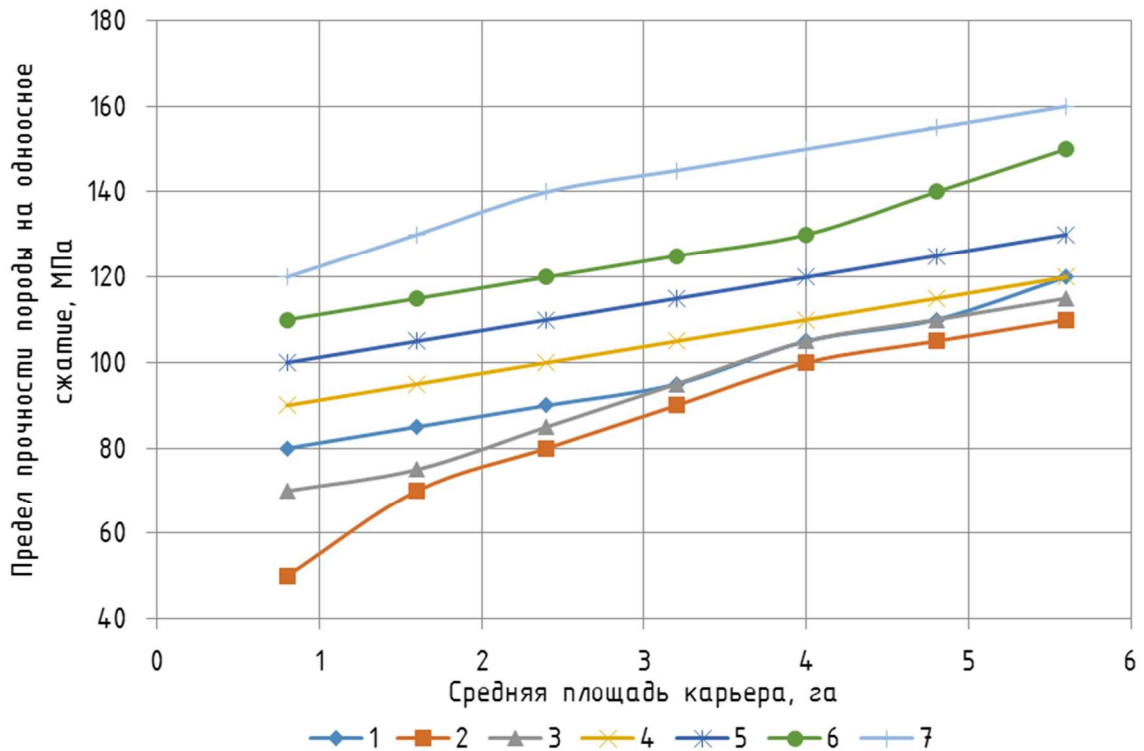


Рисунок 5.24 – Границы эффективного использования технологических схем: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (таблица 5.3)

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что область безвзрывных и комбинированных технологий формирования нерабочих бортов карьера расширяется при увеличении средней площади карьера.

#### **5.4 Исследования влияния технологии разработки месторождений известняка на показатели землеёмкости, объемы вскрышных работ и затраты на рекультивацию нарушенных земель**

Для использования выработанного пространства известняковых карьеров при строительстве объектов промышленного назначения ему нужно придавать линейную форму, а откосы должны быть вертикальными. При использовании для этих целей камнерезных машин, как показывает опыт разработки месторождений облицовочного камня,  $90^\circ$  уступы сохраняют устойчивость на протяжении многих лет. В Италии, на многих карьерах углы откосов нерабочих бортов составляют не менее  $85^\circ$  при высоте 120-200 м.

В России разработку участка Белый Кибик-Кордонского месторождения ведут с 1980 года, применяя комбинированную технологию, формируя нерабочий борт в

выветренном мраморе камнерезными машинами. При интенсивной трещиноватости и малой прочности верхние уступы хорошо сохранили, приданную им форму (см. рисунок 5.9 б).

Следовательно, нарезка вертикальных откосов с использованием камнерезных машин то же позволит увеличить углы откосов нерабочих бортов известняковых карьеров. Исследования, выполненные в работе [60], показали, что в этом случае угол откоса нерабочего борта карьера можно увеличить не менее, чем на  $15^\circ$ . Поскольку подсчет запасов на таких месторождениях ведут, принимая их границы вертикальными, то увеличение угла откоса приведет с одной стороны к уменьшению площади карьера по верху, а с другой к соответствующему снижению объемов вскрыши со стороны бортов карьера.

Для количественной оценки такого утверждения провели соответствующие численные исследования при вытянутой форме месторождения и крутого падения полезного ископаемого. Схема к расчету показана на рисунке 5.25.

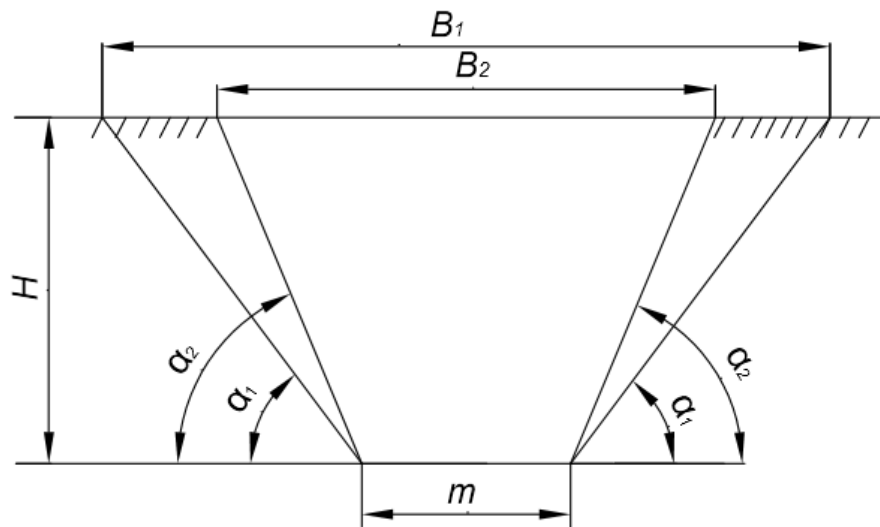


Рисунок 5.25 – Схема к расчету сокращения площади карьера и объемов вскрыши при увеличении его угла откоса нерабочего борта

В качестве показателя землеёмкости приняли величину относительного сокращения площади карьера по верху, вычисляемую по формуле

$$\Delta S = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \cdot 100\%; \quad (5.15)$$

где  $B_1$  и  $B_2$  – ширина карьера по верху соответственно при традиционной и предлагаемой технологии, м.

В свою очередь

$$B_1 = m + 2 \cdot H \cdot ctg\alpha_1, \text{ м;} \quad (5.16)$$

$$B_2 = m + 2 \cdot H \cdot ctg\alpha_2, \text{ м.} \quad (5.17)$$

где  $m$  – горизонтальная мощность полезного ископаемого, м.;  $H$  – глубина карьера, м.;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – угол откоса нерабочего борта карьера сформированного по традиционной и предлагаемой технологии, град.

После подстановки и преобразований формула для расчета относительного сокращения площади карьера примет вид

$$\Delta S = \frac{2 \cdot H \cdot (ctg\alpha_1 - ctg\alpha_2)}{m + 2 \cdot H \cdot ctg\alpha_1}; \quad (5.18)$$

Значение угла  $\alpha_1$  вычисляли по формуле [61]

$$\alpha_1 = -4,77 + 0,23 \cdot \sigma_{сж} + \frac{299,5 \cdot \sigma_{сж}^{0,554}}{H}, \text{ град;} \quad (5.19)$$

где  $\sigma_{сж}$  – предел прочности известняка на одноосное сжатие, МПа.

Анализ формул (5.18)-(5.19) показывает, что относительное сокращение площади карьера по верху зависит от горизонтальной мощности полезного ископаемого, глубины карьера и прочности известняка, т.е.

$$\Delta S = f_1(m; H; \sigma; \Delta\alpha); \quad (5.20)$$

где  $\Delta\alpha$  – приращение угла откоса нерабочего борта при использовании предложенной технологии, град.

Для исследования вида зависимости в программной среде Excel составлена специальная программа. Соответствующие результаты представлены в виде графиков на рисунках 5.28-5.30.

Относительное сокращение объема вскрышных работ, а также работ по приведению откосов в состояние, пригодное для использования в строительстве можно рассчитать по формуле

$$\Delta V = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \cdot 100\%; \quad (5.21)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – площадь поперечного сечения карьера при традиционной и предлагаемой технологии, м<sup>2</sup>.

В свою очередь

$$S_1 = \frac{B_1+m}{2} \cdot H; \quad (5.22)$$

$$S_2 = \frac{B_2+m}{2} \cdot H; \quad (5.23)$$

В конечном виде формула (5.21) примет вид

$$\Delta V = \frac{B_1-B_2}{B_1+m} \cdot 100\%; \quad (5.24)$$

Функция изменения относительного объема вскрышных работ от исследуемых параметров месторождения и прочности его пород имеет вид

$$\Delta V = f_2(m; H; \sigma; \Delta\alpha); \quad (5.25)$$

В графическом виде функция (5.25) представлена на рисунках 5.27-5.29.

Влияние приращения угла откоса нерабочего борта карьера на относительное сокращение землеёмкости и объема вскрышных работ для реальных геологических объектов показано на рисунке 5.29.

Для оценки значимости влияния геометрических параметров месторождения на относительные показатели землеёмкости и вскрышных работ при детерминированных значениях независимых переменных по разработанным программам выполнены соответствующие исследования, результаты которых представлены в виде графиков (рисунки 5.30-5.31).

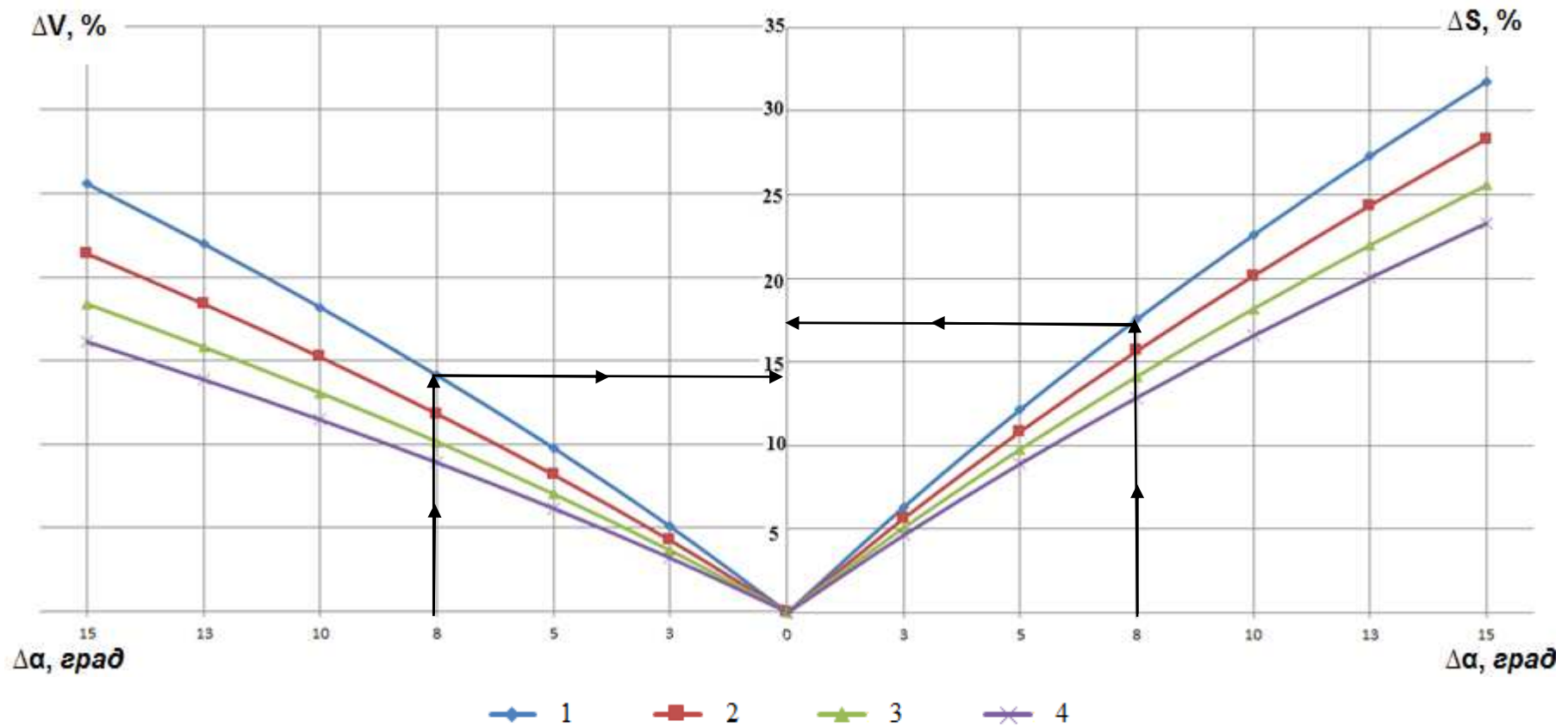


Рисунок 5.26 –Зависимости относительного сокращения площади карьера по верху ( $\Delta S$ ) и объема вскрышных работ ( $\Delta V$ ) от приращения угла откоса нерабочего борта карьера и горизонтальной мощности полезного ископаемого при среднем значении предела прочности известняка на одноосное 100 МПа и глубине карьера 150 м., м: 1–100; 2 –150; 3–200; 4–250

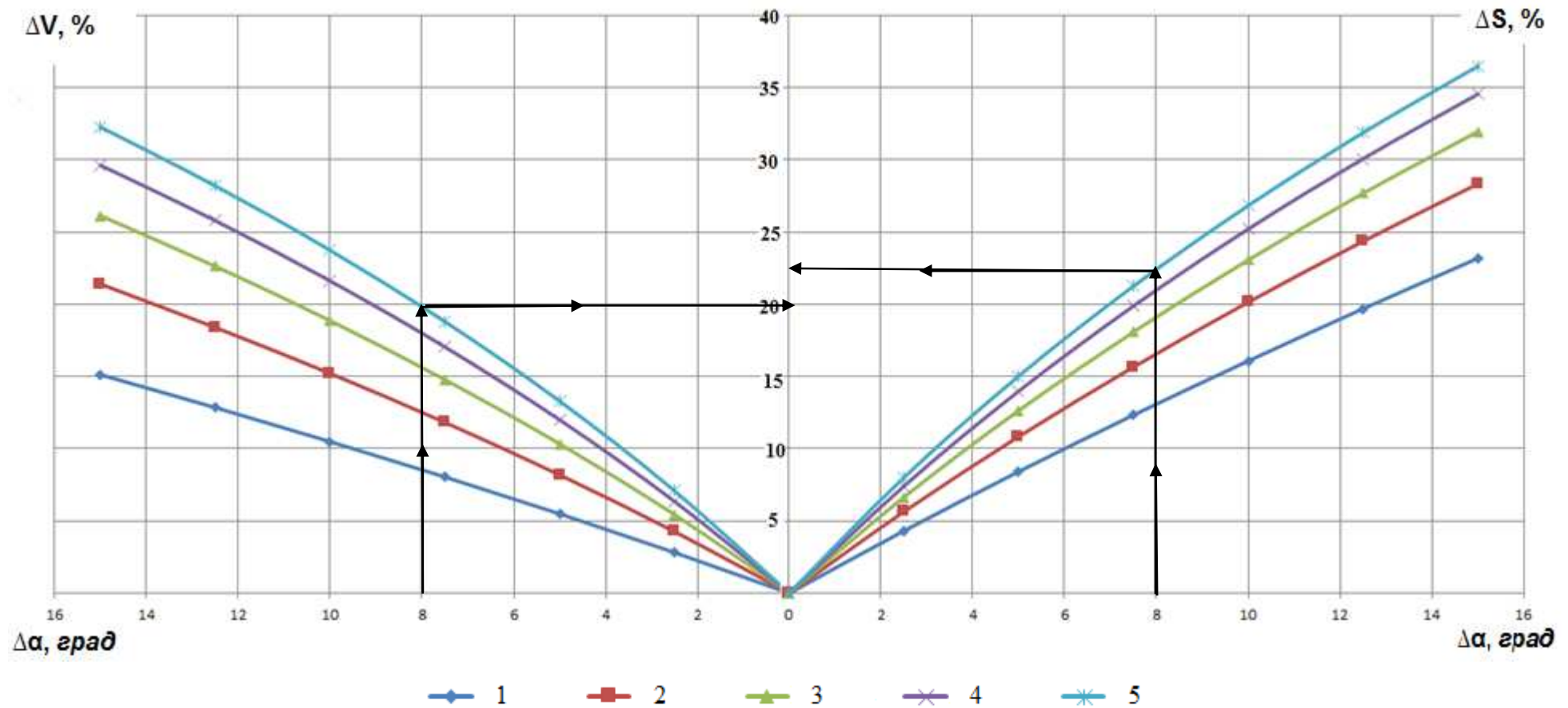


Рисунок 5.27 – Зависимости относительного сокращения площади карьера по верху ( $\Delta S$ ) и объема вскрышных работ ( $\Delta V$ ) от приращения угла откоса нерабочего борта карьера и глубины карьера при среднем значении предела прочности известняка на одноосное 100МПа и средней мощности полезного ископаемого 150 м., м: 1 – 100; 2 – 150; 3 – 200; 4 – 250

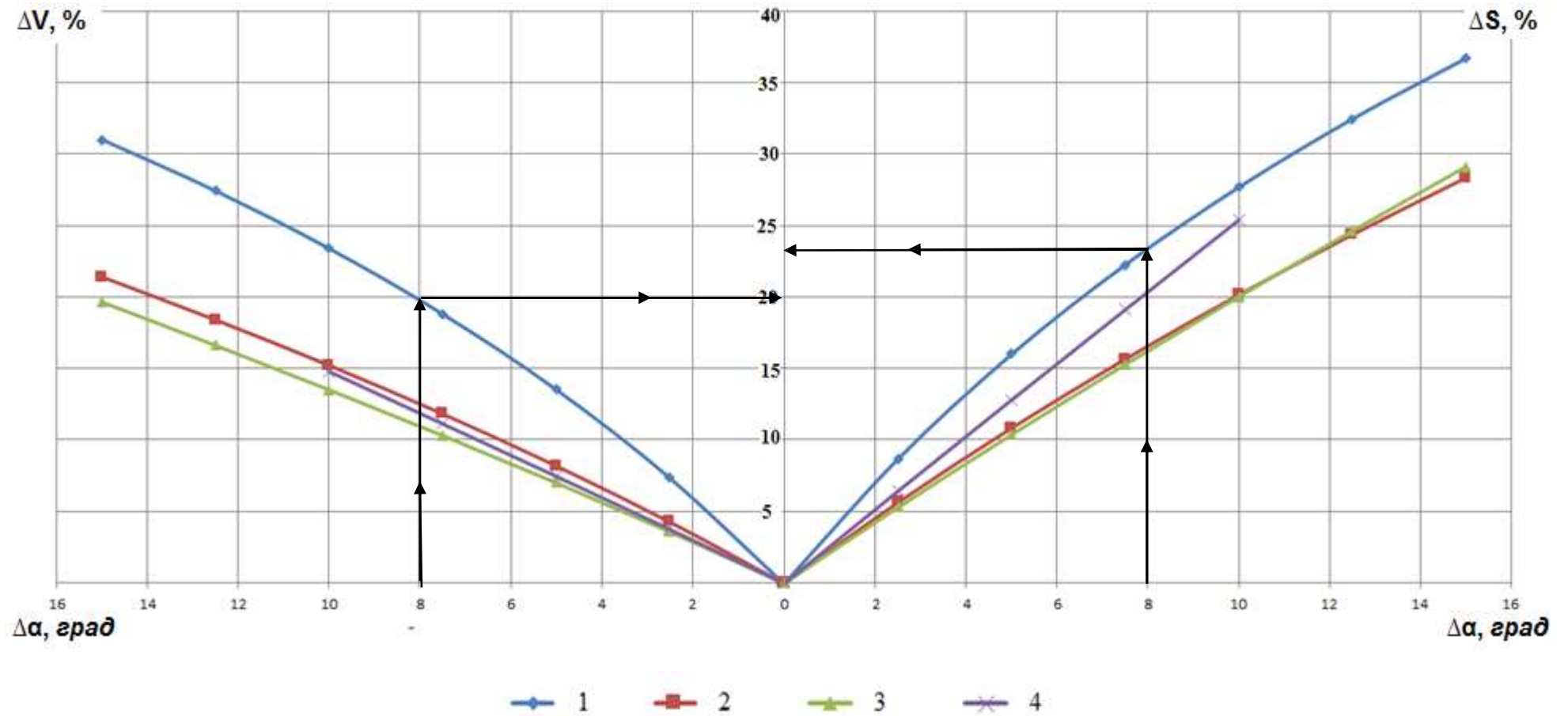


Рисунок 5.28 – Зависимости относительного сокращения площади карьера по верху ( $\Delta S$ ) и объема вскрышных работ ( $\Delta V$ ) от приращения угла откоса нерабочего борта карьера и предела прочности известняка на одноосное сжатие при глубине карьера 150м и горизонтальной мощности полезного ископаемого 150 м., МПа: 1 – 50; 2 – 100; 3 – 150; 4 – 200

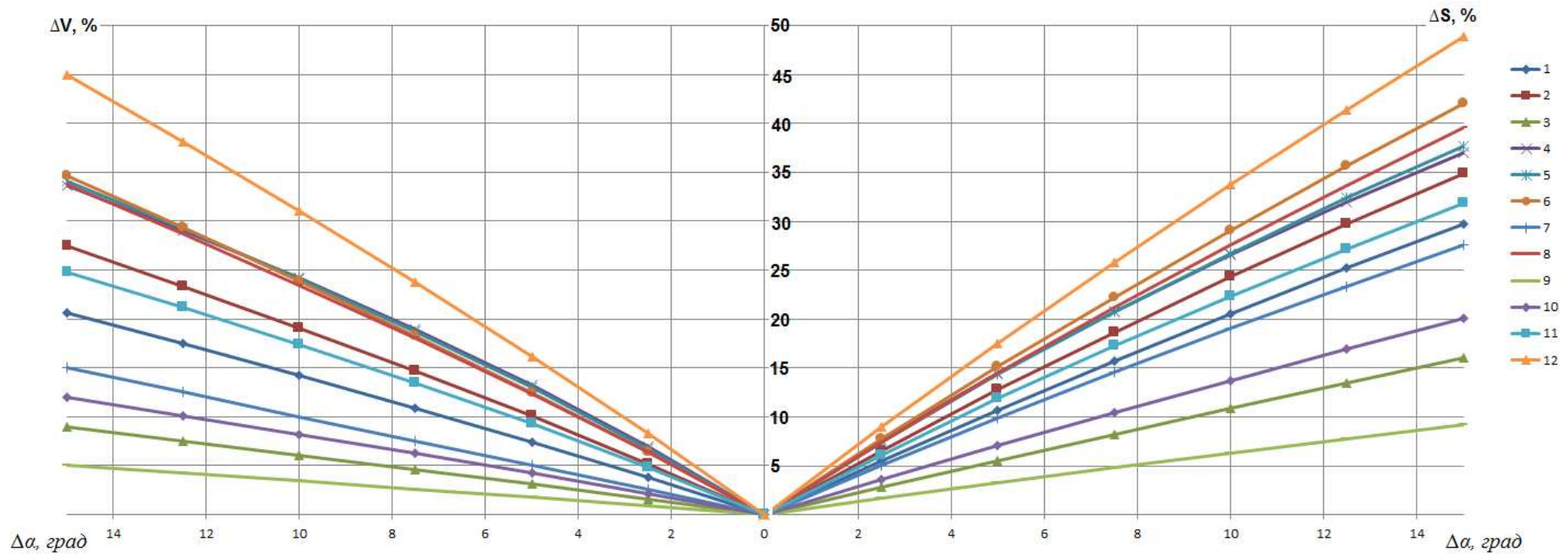


Рисунок 5.29 – Зависимости относительного сокращения площади карьера по верху ( $\Delta S$ ) и объема вскрышных работ ( $\Delta V$ ) от приращения угла откоса нерабочего борта карьера для месторождений известняка Красноярского края и Хакасии: 1 – Малокамалинское; 2 – Саратахское; 3 – Осиновское; 4 – Мазульское; 5 – Подкамешек; 6 – Ербинское; 7 – Крутокачинское; 8 – Артемовское; 9 – Торгашинское; 10 – Рудничное; 11 – Подгорное; 12 – Гарьское



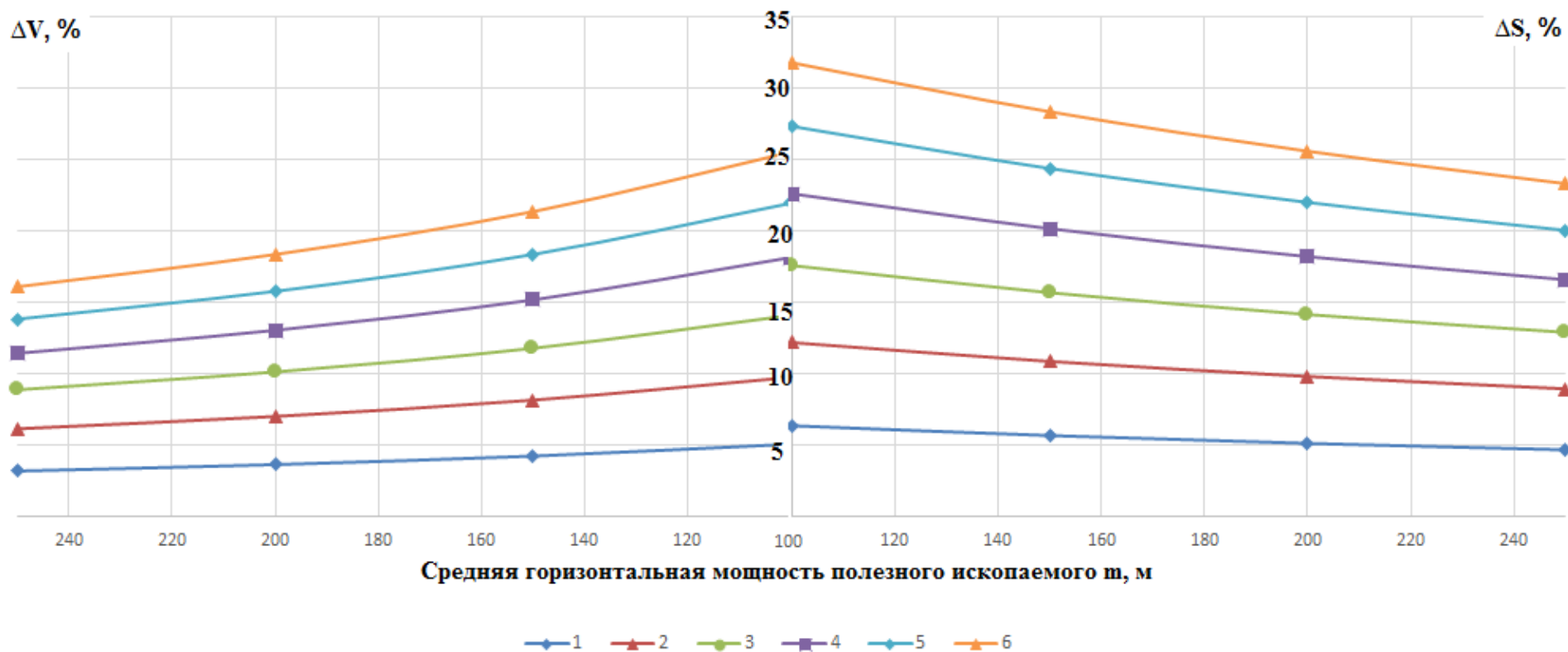


Рисунок 5.30 – Зависимости относительного сокращения площади карьера по верху ( $\Delta S$ ) и объема вскрышных работ ( $\Delta V$ ) от мощности полезного ископаемого и приращения угла откоса нерабочего борта карьера при пределе прочности известняка на одноосное сжатие 100 МПа и глубине карьера 150м, град: 1 – 2,5; 2 – 5; 3 – 7,5; 4 – 10; 5 – 12,5; 6 – 15

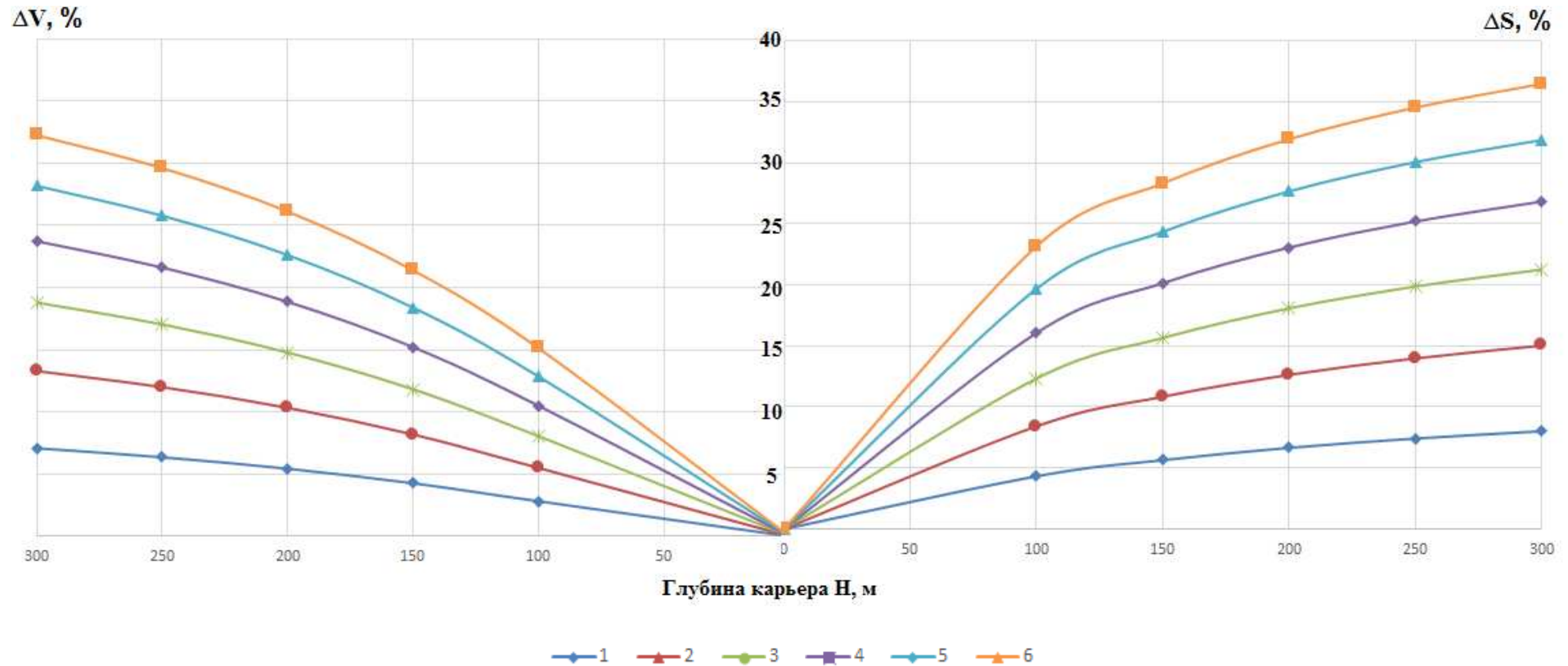


Рисунок 5.31 – Зависимости относительного сокращения площади карьера по верху ( $\Delta S$ ) и объема вскрышных работ ( $\Delta V$ ) от глубины карьера и приращения угла откоса нерабочего борта карьера при пределе прочности известняка на одностороннее сжатие 100 МПа и мощности полезного ископаемого 150м, град: 1 – 2,5; 2 – 5; 3 – 7,5; 4 – 10; 5 – 12,5; 6 – 15

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при увеличении глубины карьера, уменьшении мощности полезного ископаемого и прочности пород относительные показатели землеёмкости и вскрышных работ возрастают. Что свидетельствуют о высокой актуальности использования предлагаемой технологии в таких условиях.

Степень эффективности использования выработанного пространства зависит от выбранного направления рекультивации.

Рекультивация относится к мероприятиям восстановительного характера, направленным на устранение последствий воздействия горных работ на окружающую среду, в первую очередь на земли, и рассматривается как основное средство их воспроизводства [86].

Выделяют следующие направления рекультивации: сельскохозяйственное – создание сельскохозяйственных угодий (пашни, сенокосы, подсобные хозяйства и пр.), лесохозяйственное – лесопосадки различного типа (лесопитомники), водохозяйственное – создают водоемы в отработанных карьерах, рекреационное – зоны отдыха (туристические базы, спортивные сооружения, парки), санитарно-гигиеническое – выполняется при необходимости консервации нарушенных земель, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду, в случаях, если приведение нарушенных земель в состояние, пригодное для использования в народном хозяйстве экономически неэффективно, либо техногенные объекты подлежат реформированию или перемещению, строительное – размещение объектов различного назначения (преимущественно промышленного типа) в отработанных карьерах [68, 87, 88, 89, 90].

На выбор направления рекультивации оказывают влияние следующие факторы:

- природно-климатические (гидрогеология, рельеф местности, характер почвенно-растительного слоя);
- социальные (инфраструктура района, перспективы и направления развития района);
- горно-технологические (уровень и состояние технологии и механизации горных работ, наличие транспортных коммуникаций).

Технологию вскрышных, добычных и отвальных работ следует разрабатывать с учетом последующей рекультивации.

Выбранное направление рекультивации должно обеспечивать решение таких задач как рациональное и комплексное землепользование ресурсов недр, создание гармоничного ландшафта вблизи центров агломераций, отвечающего экологическим, хозяйственным, эстетическим и санитарно-гигиеническим требованиям.

Наиболее эффективно применение комплексного решения при одновременном использовании нескольких направлений рекультивации и создании на рекультивируемых участках многопрофильных хозяйств.

Очевидно, что нарушенные земли при разработке месторождений известняка, располагаемые вблизи селитебных территорий крупных промышленных городов, целесообразно рекультивировать с целью создания рекреационных зон или строительства в выработанном пространстве зданий промышленного или гражданского назначения. Причем, при больших размерах карьеров эти направления можно реализовать параллельно или в определенной последовательности.

Для строительного направления рекультивации выработанному пространству нужно придать необходимую форму и нарезать вертикальные уступы. Причем, в плане готовое для строительства пространство может иметь любую форму, создаваемую с помощью камнерезных машин различных моделей (см. рисунок 5.10). Принципиальная схема перенарезки уступов показана на рисунке 5.32.

При этом эксплуатационные затраты, необходимые для перенарезки уступа, отнесенные к средней площади карьера, предложено рассчитывать по формуле

$$Z_{\text{пр}} = C \times P / S; \text{руб/м}^2, \quad (5.26)$$

где  $C$  - эксплуатационные затраты для перенарезки уступа, отнесенные на метр длины борта, руб./м;  $P$  – средний периметр борта карьера, м;  $S$  – средняя площадь горизонта карьера, м<sup>2</sup>.

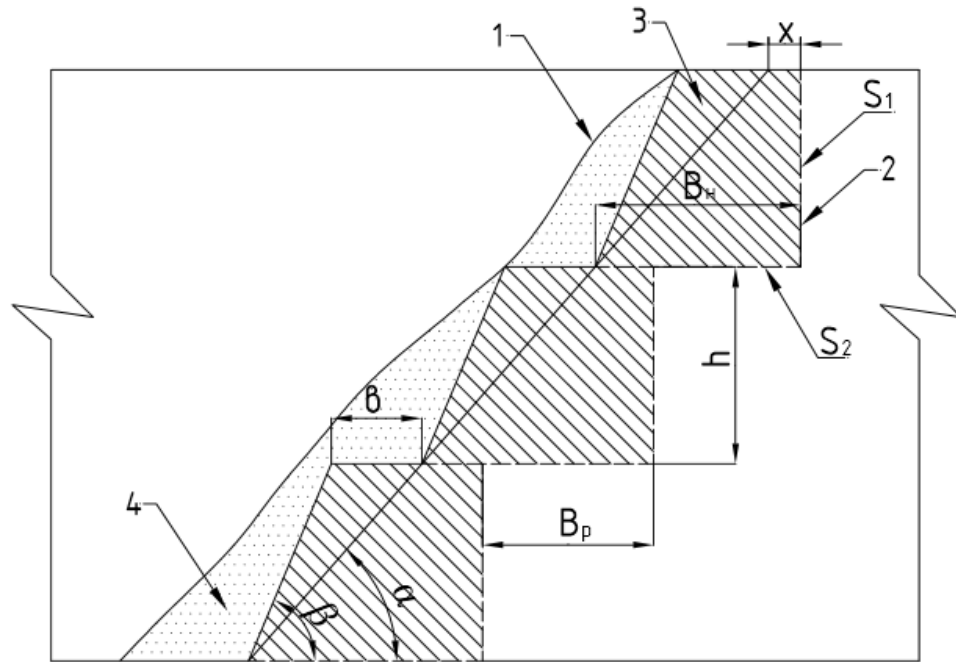


Рисунок 5.32 – Принципиальная схема нарезки вертикальных уступов: 1 – граница осыпи; 2 – создаваемый при рекультивации контур; 3 – извлекаемый при нарезке объем породы; 4 – выветренные породы

В свою очередь

$$C = C_k \cdot V_k + C_p \cdot S_o, \text{ руб./м}, \quad (5.27)$$

где  $V_k$  – удельный объем, разрабатываемый с помощью комбайна при перенарезке уступов,  $\text{м}^3/\text{м}$ ;  $S_o$  – удельная площадь резания камнерезными машинами,  $\text{м}^2/\text{м}$ ;  $C_k$  и  $C_p$  – себестоимость отбойки пород комбайном и камнерезной машиной,  $\text{руб}/\text{м}^3$  и  $\text{руб}/\text{м}^2$  (п.5.2).

При этом

$$V_k = \frac{x+B_H}{2} \times h = \frac{2 \cdot B_H - h \cdot \text{ctg} \beta}{2} \times h, \text{ м}^3/\text{м}; \quad (5.28)$$

$$S_o = S_1 + S_2 = h + B_H, \text{ м}^2/\text{м}; \quad (5.29)$$

$$x = B_H - h \cdot \text{ctg} \beta, \text{ м}. \quad (5.30)$$

где  $x \geq 1$  – безопасное расстояние от бара до верхней бровки уступа, м;  $B_p$  – ширина площадки на конечном контуре карьера, м;  $h$  – высота уступа, м;  $\beta$  – угол откоса нерабочего уступа при традиционной технологии, град.

Для известняков угол откоса нерабочего уступа на конечном контуре карьера можно рассчитать по формуле

$$\beta = 1,9 + 0,56 \cdot \sigma - 0,0013 \cdot \sigma^2, \text{ град}. \quad (5.31)$$

Анализ формул (5.26) – (5.31) свидетельствует о том, что удельные эксплуатационные затраты на рекультивацию при использовании выработанного пространства в строительстве зависят от прочности породы и средней площади горизонта карьера, то есть:

$$Z_{\text{пр}} = f(\sigma; S). \quad (5.32)$$

Для исследования вида зависимости в программной среде Excel составлена специальная программа. Результаты расчет по ней представлены в виде графиков на рисунках 5.33 – 5.34.

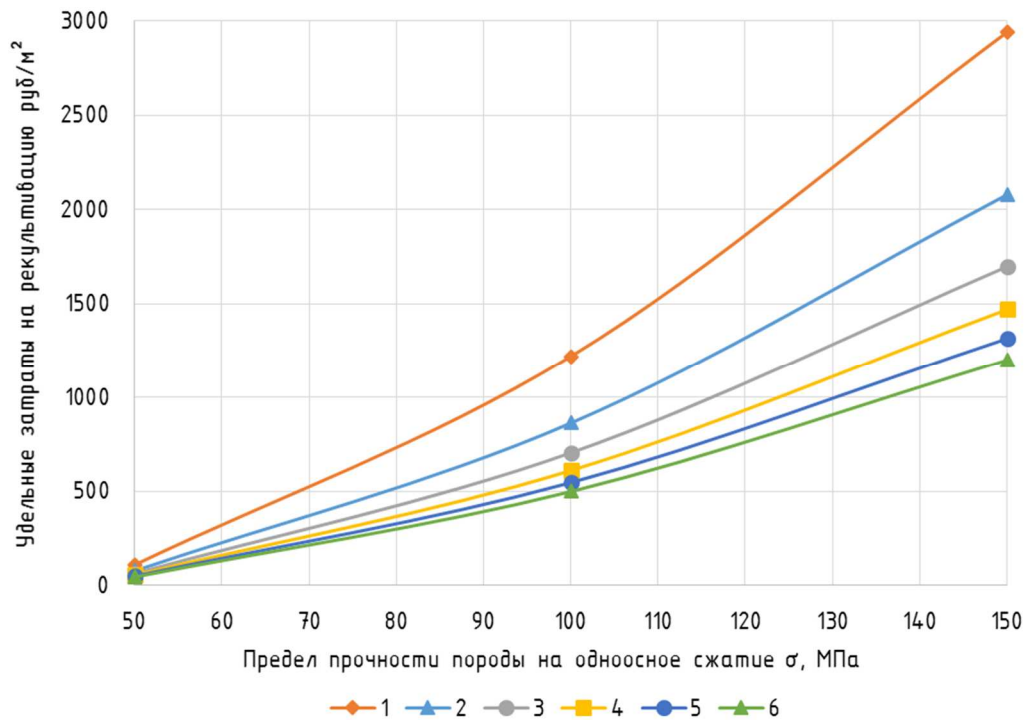


Рисунок 5.33 – Зависимость удельных затрат на подготовку выработанного пространства к строительству безвзрывным способом предела прочности породы на одноосное сжатие и от площади карьера, га: 1–1,5; 2–3,5; 3–4,5; 4–6; 5–7,5; 6–9

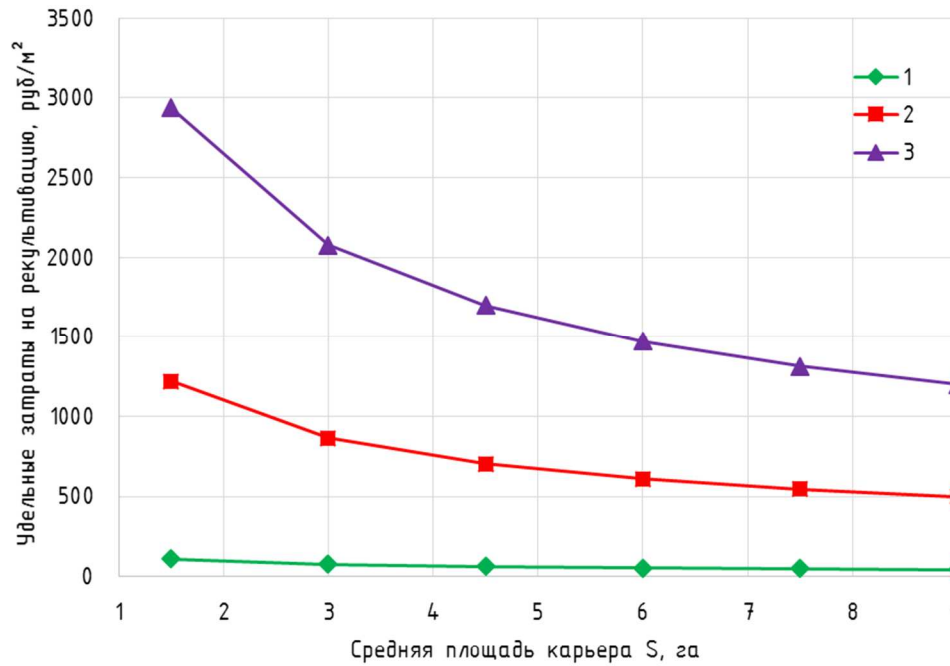
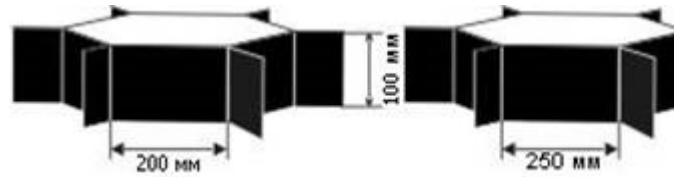


Рисунок 5.34 – Зависимость удельных затрат на подготовку выработанного пространства к строительству безвзрывным способом от площади карьера и предела прочности породы на одноосное сжатие, МПа: 1–50; 2–100; 3–150

В случае создания зоны отдыха, включающей парк на борту и водоем на дне карьера, потребуется выложить откосы под углом 20-25°, смонтировать на них георешетку, заполнить её продуктивным грунтом, посеять траву и посадить деревья (рисунок 5.35). Горизонтальные площадки планируют и засыпают продуктивным грунтом, устраивают дорожки для прогулок и засевают травой.



а



б

в



г

д



Рисунок 5.35 – Рекультивация поверхности откосов с использованием георешетки: а – вид георешетки; б – георешетка на склоне; в – заполнение георешетки грунтом; г – георешетка заповенная грунтом; д – лесопосадки в георешетке



Ориентировочно затраты на рекультивацию при использовании георешетки можно рассчитать по формуле

$$Z_p = C_r \cdot S_r \cdot P \cdot K_{bc} ; \quad (5.32)$$

где  $C_r$  – цена георешетки, руб./м<sup>2</sup>;  $S_r$ -удельная площадь поверхности откоса для установки георешетки, м<sup>2</sup>/м;  $K_{bc}$  – коэффициент, учитывающий вспомогательные работы при установке георешетки ( $K_{bc}=2,5 \div 3$ ).

Исходя из этого удельные затраты на рекультивацию вычисляли по формуле

$$Z_{пр}' = \frac{Z_p}{S} ; \text{руб./м}^2; \quad (5.33)$$

Численные исследования, выполненные на ЭВМ показали, что удельные затраты на рекультивацию при использовании георешетки уменьшаются с увеличением средней площади карьера (рисунок 5.36).

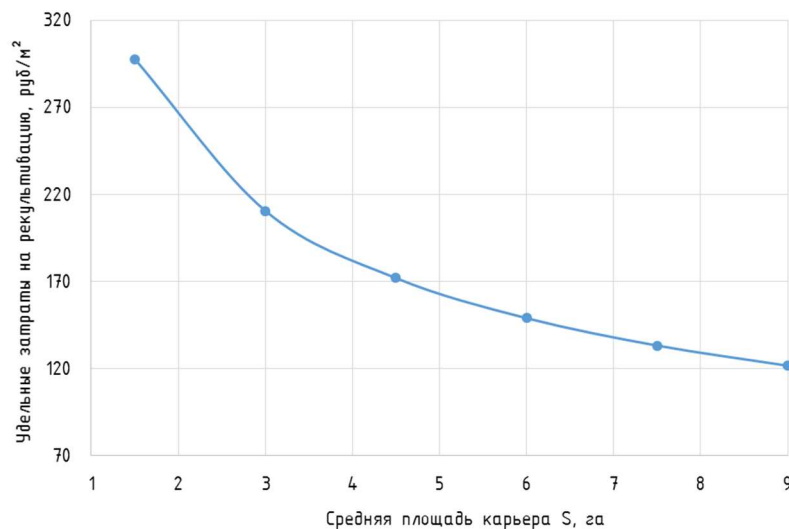


Рисунок 5.36 – Влияние средней площади карьера на удельные затраты на рекультивацию поверхности откосов известковых карьеров

В целом, выполненные исследования показали, что применение безвзрывных и комбинированных технологий при формировании выработанного пространства обеспечивает уменьшение землеёмкости и объема вскрышных работ. Кроме этого, доказано, что нарезка вертикальных уступов в пост эксплуатационный период потребует много времени и будет связано с серьезными капитальными затратами и вряд ли созданное таким образом выработанное пространство найдет своего потребителя. Поэтому, более приемлемым вариантом рекультивации следует считать рекреационное при возможности обеспечения надежной гидроизоляции пород и устойчивости откосов.

## 5.5 Выводы

5.5.1 Основными факторами, влияющими на выбор технологии разработки месторождения, являются физико-механические свойства горных пород, рельеф, мощность залежи, жесткость климата, требования к восстановлению поверхности, инфраструктура района размещения предприятия и воздействие на окружающую среду, размеры месторождения.

5.5.2 Месторождения известняка, как правило, имеют простые условия разработки и технология их разработки осложняется только требованиями, предъявляемыми к ограничению воздействия на окружающую среду, а также необходимостью обеспечения природной монолитности известняка за пределами границ разработки и высокой стоимостью земель. С учетом этого необходимо выбирать технологию разработки, которая должна включать работы, позволяющие параллельно с добычей известняка формировать выработанное пространство требуемой формы, с заданными размерами и качеством поверхности откосов.

5.5.3 Все предлагаемые технологические схемы разработки месторождений известняка условно разделены на буровзрывные, безвзрывные и комбинированные. Принимая во внимание расположение месторождений известняка вблизи населенных пунктов, при оценке вариантов безвзрывной технологии следует отдавать наибольшее предпочтение. Подобная технология наряду с упрощением подготовки выработанного пространства к строительству снижает, а в ряде случаев исключает затраты на рекультивацию.

5.5.4 В результате численных исследований установлены зависимости средней площади карьера от прочности известняка, определяющие области эффективного использования предложенных технологических схем и их модификаций. Доказано, что с увеличением средней площади карьера безвзрывную технологию можно использовать для разработки более прочных известняков.

5.5.5 В целом, выполненные исследования показали, что применение безвзрывных и комбинированных технологий при формировании выработанного простран-

ства во время эксплуатации месторождения обеспечивает уменьшение землеёмкости и объема вскрышных работ. Нарезка вертикальных уступов в пост эксплуатационный период потребует много времени и будет связано с серьезными капитальными затратами и вряд ли созданное при этом выработанное пространство найдет своего потребителя.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача по повышению эффективности разработки месторождений известняков с последующим использованием выработанного пространства в пост эксплуатационный период отработки, имеющая важное значение для развития горнодобывающей отрасли России.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации состоят в следующем:

1. Выработанное пространства известняковых карьеров повторяют форму соответствующего месторождения или его части и является наиболее масштабным с возможностью высокоэффективного использования георесурса недр. В настоящее время техногенные выработки нашли своё применение в достаточно широком перечне объектов, особенно вблизи растущих городов, у которых наблюдается недостаток территории для строительства новых объектов. Поэтому выработанное карьерное пространство, расположенное в непосредственной близости с селитебными территориями, должно быть использовано в качестве площадок для размещения объектов инфраструктуры городов.

2. На основе анализа особенностей технологии разработки и её экономической оценки обоснован методический подход к оценке рациональных параметров разработки месторождения известняка с позиции последующего использования техногенных ресурсов недр, который структурирован в алгоритм действия недропользователя и позволяющий выполнить технико-экономическую оценку освоения месторождения. Данный алгоритм оценки позволит на стадии проектирования или эксплуатации выполнить количественную оценку технологии разработки месторождения с позиции рационального использования недр, безопасности и экономической эффективности производства в целом.

3. Для использования в строительстве выработанное пространство известнякового карьера должно иметь правильные, близкие к линейным формы, которая позволяет уменьшить трудозатраты при подготовке пород к выемке и повысить устойчивость откосов.

4. Параметры вскрывающих выработок определяют объемы вскрыши и площадь нарушаемых земель, при этом максимальное влияние ширины транспортных берм на объемы вскрыши наблюдается при минимальной глубине карьера и соответствующая функция монотонно убывает в исследуемом интервале значений, влияние же руководящего уклона трассы на объемы вскрыши имеет аналогичный характер, но данная функция монотонно возрастает.

5. Предложена технология разработки месторождений известняка, предусматривающая его комбинированное вскрытие с разделением грузопотоков вскрышных пород и полезного ископаемого, а также в размещении объектов первичного перерабатывающего производства в зоне выработанного пространства карьера и подземных выработках.

6. Оценка эффективности освоения месторождения показала, что величина индекса доходности инвестиций при комбинированном вскрытии месторождения известняка тесно связана с глубиной заложения концентрационного горизонта и с относительным показателем трудности разработки. Численные исследования показали, что функция индекса доходности инвестиций от глубины заложения концентрационного горизонта при комбинированном вскрытии месторождения имеет параболический вид, а её экстремум зависит от относительного показателя трудности разработки месторождения известняка. Установлено, что оптимальная глубина концентрационного горизонта возрастает с ростом относительной трудности разработки и соответствующая зависимость описывается логарифмической кривой.

7. Основными факторами, влияющими на выбор технологии разработки месторождения, являются физико-механические свойства горных пород, рельеф, мощность залежи, жесткость климата, требования к восстановлению поверхности, инфраструктура района размещения предприятия и воздействие на окружающую среду, размеры месторождения. Технология разработки месторождений известняка осложняется только требованиями, предъявляемыми к ограничению воздействия на окружающую среду, а также необходимостью обеспечения природной монолитности известняка за пределами границ разработки и высокой стоимостью земель. С учетом этого необходимо выбирать технологию разработки, которая должна

включать работы, позволяющие параллельно с добычей известняка формировать выработанное пространство требуемой формы, с заданными размерами и качеством поверхности откосов.

8. Все предлагаемые технологические схемы разработки месторождений известняка условно разделены на буровзрывные, безвзрывные и комбинированные. С учетом расположения месторождений известняков вблизи населенных пунктов, при оценке вариантов, безвзрывной технологии следует отдавать наибольшее предпочтение. Подобная технология наряду с упрощением подготовки выработанного пространства к строительству снижает, а в ряде случаев исключает затраты на рекультивацию.

9. В результате численных исследований установлены зависимости средней площади карьера от прочности известняка, определяющие области эффективного использования предложенных технологических схем и их модификаций. Доказано, что с увеличением средней площади карьера безвзрывную технологию можно использовать для разработки более прочных известняков.

10. Применение безвзрывных и комбинированных технологий при формировании выработанного пространства во время эксплуатации месторождения обеспечивает уменьшение землеёмкости и объема вскрышных работ. Нарезка вертикальных уступов в пост эксплуатационный период потребует много времени и крупных капитальных затрат и вряд ли созданное при этом выработанное пространство найдет своего потребителя.

11. Результаты исследований рекомендуется использовать при планировании горных работ на разрабатываемых и проектируемых месторождениях известняка, а также в учебном процессе на кафедре «Открытые горные работы» ИГДГГ.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Остапенко П.Е. Технологическая оценка минерального сырья. Нерудное сырье: Справочник. / Остапенко П.Е. //– М.: Недра, 1995. – 507с. С. 271 – 276.
2. Алванян, А.К. Геолого-промышленные типы месторождений общераспространенных полезных ископаемых Пермского края. / А.К. Алванян, Р.Г. Ибламинов // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского, 2009. Вып. 10. С. 135 – 144.
3. Российский федеральный геологический фонд «РосГеолФонд» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.rfgf.ru/>.
4. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Карбонатные породы // Москва 2007 год.
5. Коженевский С.Р. – Известняк [Электронный ресурс] / С.Р. Коженевский // – Режим доступа: <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2011.htm>
6. Василик Г.Ю. Цементная промышленность России в 2013 году. / Г.Ю. Василик // Цемент и его применение. 2013. – № 6. – С. 3–8.
7. Добыча извести в мире [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/>.
8. Думнов, А.Д. Ресурсы и окружающая среда России (аналитический доклад) /А.Д. Думнов, Н.Г. Рыбальский, Е.Д. Самоотесов, Ю.И. Максимов и др. // М.: НИА – Природа, РЭФИА, 2001. – 572 С.
9. Сводный отчетный баланс запасов флюсовых известняков Красноярского края и Хакасии. – Красноярск, 2002. – 150 С.
10. Кадастр месторождений известняков. – Красноярск, 1960. – 305 С.
11. Зайцев, Г.Д. Оценка технологических и технических возможностей оборудования для безвзрывной добычи полезных ископаемых. / Г.Д. Зайцев, В.И. Ческидов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014, № 2, С.220–227.

12. Забегалов, Г.В. Бульдозеры, скреперы, грейдеры / Г.В. Забегалов, Э.Г. Ро-нинсон // М.: Высшая школа, 1991. – 334 С.
13. Репин, Н.Я. Выемочно-погрузочные работы: Учеб. пособие. – 2-е изд., стер. / Н.Я. Репин, Л.Н. Репин // М.: Издательство «Горная книга», 2012. – 267 с.: ил. (Процессы открытых горных работ)
14. Макеев М.В. Принципы действия компактного роторного экскаватора осо-бой мощности / М.В. Макеев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009, № 12, С.353–360.
15. Губенко, А.А. Современное состояние и перспективы развития конструкций карьерных комбайнов для безвзрывной послойной выемки прочных пород. / А.А. Губенко, Ле Бинь Зыонг, А.А. Грабский, И.В. Петров // Научный вестник Москов-ского государственного горного университета. 2010. № 7. С. 24-30.
16. Штейнцайг, Р.М. Мировая горная промышленность история достижения, перспективы / Р.М. Штейнцайг, К.Ю. Анистратов // – М.: НТЦ Горное дело, 2005. – С 298-318.
17. Ржевский, В.В. Разработка полускальных и скальных пород на карьерах комбайнами / В.В. Ржевский, Ю.И. Анистратов // Добыча угля открытым способом. – 1967. – № 8. – С. 26–30.
18. Анистратов, Ю.И. Подготовка пород к выемке при применении на разрезах комбайнового способа разработки / Ю.И. Анистратов, А.П. Семин // Добыча угля открытым способом. – 1970. – № 11-12. – С. 13-14.
18. Коваленко, С.К. Совершенствование технологических процессов горного производства на угольном разрезе «Талдинский» / С.К. Коваленко, А.И. Шендеров, Р.М. Штейнцайг // Уголь. – 1997. –№ 1. – С 17–20.
19. Комбайн «Wirtgen» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://sneцтехника-оборудование.рф>.
20. Рыльникова, М.В. Классификация техногенных георесурсов в свете пер-спектив комплексного освоения рудных месторождений. / М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко, В.В. Экс. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012, № 2, С.318–324.



21. Трубецкой К.Н. Комплексное освоение рудных месторождений при открытом способе разработки / К.Н. Трубецкой // Итоги науки и техники. Сер. Разработка месторождений твердых полезных ископаемых. Т.31. М.: ВНИИТИ, 1985. – С. 3–44.
22. Гавришев, С.Е. Определение ценности техногенных георесурсов / С.Е. Гавришев, В.Ю. Заляднов, И.А. Пыталев, Е.В. Павлова // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2010. – №2 (30). С. 5–8.
23. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]:– Режим доступа: <http://www.gks.ru/>
24. Пыталев И.А. Обоснование параметров карьеров и отвалов, формируемых в виде емкостей для размещения промышленных отходов [Текст] // Автореф. Дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Пыталев Иван Алексеевич. Магнитогорск, 2008. – 20 с.
25. Эко-отель в карьере, пригород Шанхая, Китай, проект.15.07.2008. [Электронный ресурс]:– Режим доступа: <http://www.urbanismo.ru>.
26. Ботанический сад Проект «Эдем» Eden Project. [Электронный ресурс]:– Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>.
27. Тальков камень – отработанный карьер. [Электронный ресурс]:– Режим доступа: <http://www.ekmap.ru/lakes/63>
28. Экогород 2020 от Архитектурного бюро «АБ Эллис». [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.prolite.ru>.
29. Белый колодец – спортивный комплекс в отработанном карьере. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.tetralab.ru>.
30. Амфитеатр Дальхалла. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.lenta.ru>.
31. Токмаков, П.И. Экология и охрана природы при открытых горных работах / П.И. Токмаков, В.С. Коваленко, А.М. Михайлов // Учеб. пособие. М.: Издательство московского государственного горного университета, 2000. – 417 С.

32. Домаренко, В.А. Эколого-экономическая оценка месторождений (твердые полезные ископаемые) / В.А. Домаренко // Издательство Томского Политехнического Университета, 2007. – 183 С.
33. Саканцев Г.Г. Внутреннее отвалообразование на глубоких рудных карьерах / Г.Г. Саканцев // Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 225 С.
34. Хохряков В.С. Проектирование карьеров. Учеб. для вузов 3-е изд., перераб. и доп. / В.С. Хохряков // – М.: Недра, 1992. – 383 С.
35. Томаков, П.И. Перспективы развития внутренних отвалов на разрезе «Бога-тырь» / П.И. Томаков, В.И. Супрун, Д.П. Мелехов // Уголь. 1986. – №12. – С. 2–26.
36. Томаков П.И. Система разработки крутых пластов угля с внутренним отвалообразованием / П.И. Томаков // Новые направления в технике и технологии открытых горных работ: сб. тр. / МИРГЭМ. М.: Недра, 1965. – С. 67–73.
37. Трубецкой, К.Н. Проектирование карьеров: учебник для вузов: в 2 т. / 2-е изд., перераб. и доп. / К.Н. Трубецкой, Г.Л. Краснянский, В.В. Хронин // – М.: Изд. Академии горных наук, 2001. – Т. I. – 519 С.
38. Холодняков Г.А. Проектирование карьеров, разрабатывающих комплексные месторождения / Г.А. Холодняков // Л.: ЛГИ, 1987. – 84 С.
39. Холодняков Г.А. Решение экологических проблем при проектировании горно-рудных предприятий / Г.А. Холодняков // Горный журнал. 2006. – №4. С. 2–22.
40. Томаков, П.И. Природоохранные технологии открытой разработки крутых и наклонных угольных месторождений Кузбасса / П.И. Томаков, В.С. Коваленко // Уголь. 1992. – № 1. – С. 16–20.
41. Михайлова, Т.Л. Рациональное землепользование в цветной металлургии / Т.Л. Михайлова, А.В. Хохряков // Изв. вузов. Горный журнал. 1993. – №6. С. 97–135.
42. Кирин, В.И. Отчет о геологоразведочных работах на месторождении Подкамешек / В.И. Кирин, Ю.П. Ульянов // – Красноярск, 1961. – 123с.
43. Медведев, В.И. Мазульское месторождение известняков. (Отчет с подсчетом запасов) / В.И. Медведев, А.В. Максудов, С.А. Каравицкий // – Красноярск, 1970. – 32с.

44. Недорезов, В.А. Отчет о разведке Крутокачинского месторождения и доломитов / В.А. Недорезов, Г.В. Чепкасов // – Красноярск, 1959. – 76с.
45. Ильин, К.М. Отчет по теме: «Химическое сырье Красноярского края» / К.М. Ильин, В.А. Давыдова // – Красноярск, 1983. – 234с.
46. Килесо, И.Т. Геолого-промышленный отчет и подсчет запасов по Ербинскому месторождению известняков в Усть-Абанском районе / И.Т. Килесо, В.Т. Лабзовская // – Красноярск, 1959. – 213с.
47. Барков В.В. Материалы по Подгорному месторождению известняков / В.В. Барков // – Красноярск, 1970. – 140с.
48. Боровский А.И. Геологический отчет. Малокамалинское месторождение известняков / Боровский А.И. // – Красноярск, 1961. – 75с.
49. Кадастр месторождений известняков. – Красноярск, 1960. – 305с.
50. Серебров И.В. и др. Геологический отчет. Артемовское месторождение. – Красноярск, 1991. – 170с.
51. Ходаковский Ф.И. Отчет о геологоразведочных работах. Осиновское месторождение известняков / Ф.И. Ходаковский // – Красноярск, 1999. – 135с.
52. Храмов И.П. Отчет о детальной разработке Саратахского месторождения известняков с подсчетом запасов / И.П. Храмов // – Красноярск, 1975. – 125 С.
53. Справочник полезных ископаемых Емельяновского района Красноярского края. – Красноярск 2001.- 158 С.
54. Миронов, В.С. Справочник месторождений полезных ископаемых строительной индустрии Красноярского края. Т 1. / В.С. Миронов, А.М. Глушков и др. //– Красноярск: Монитек, 1998. – 462 С.
55. Миронов, В.С. Справочник месторождений полезных ископаемых строительной индустрии Красноярского края. Т 2. / Миронов В.С., Глушков А.М. и др. // – Красноярск: КГУ, 1998. – 510 С.
56. Окользин, Е. П. Опыт исследования трещиноватости и вероятностные методы определения блочности камня в массиве / Е.П. Окользин, П.Ф. Корсаков // Облицовочные камни. - И.: Наука, 1974.- С. 82-87.

57. Медников Н.Н. Оценка добываемости полезных ископаемых / Н.Н. Медников // Техника и технология открытых горных работ при комплексном освоении минеральных ресурсов: Сб. трудов МГИ. - М.: МГИ, 1988.- С.171–183.
58. Малышева, Н.А. Технология разработки месторождений нерудных строительных материалов / Н.А. Малышева, В.Н. Сиренко // - М.: Недра, 1977. – 392 С.
59. Таламанова О.Н. Энерго-трудо-затратоёмкость производства щебня / О.Н. Таламанова // – Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2001. – 122 С.
60. Назарова Е.Ю. Обоснование технологии разработки месторождений карбонатных пород вблизи селитебных территорий [Текст] //Автореф. Дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Назарова Евгения Юрьевна. Красноярск, 2007. – 18 С.
61. Косолапов А.И. Исследование и обоснование технологии разработки нагорных месторождений облицовочного мрамора: [Текст] //Автореф. Дис. ... докт. техн. наук: 25.00.22 / Косолапов Александр Иннокентьевич. Москва, - М.: МГГУ, 1993. – 28 С.
62. Картозия, Б.А. Строительная геотехнология / Б.А. Картозия, А.В. Корчак, С.А. Мельникова // М.: МГГУ, 2003. – 230 С.
63. Умнов Виталий Анатольевич. Экономическое обоснование рационального использования подземного пространства. [Текст] //Автореф. Дис. ... докт. экон. наук: 11.00.11 / Умнов Виталий Анатольевич. Москва, 2000. – 35 С.
64. Закон Российской Федерации от 21 февраля 1992 г. N 2395-1 «О недрах» (в редакции от 06.12.2011 N 401-ФЗ).
65. Налоговый кодекс Российской Федерации. Ч. 1 и 2. – М.: Норма, 2000.
66. Фадеичев, А.Ф. Динамика негативного воздействия на окружающую среду на разных стадиях развития горного производства / А.Ф. Фадеичев, А.В. Хохряков, Н.В. Гревцов, Е.М. Цейтлин // Известия вузов. Горный журнал. 2012, №1, С.39-46.
67. Опарин В.Н. Фундаментальные проблемы облагораживания поверхности земли в условиях высокой техногенной нагрузки / В.Н. Опарин //Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Глубокие карьеры». - Апатиты, 2012. – С.18-37.

68. Мосинец, В.Н. Горные работы и окружающая среда / В.Н. Мосинец, М.В. Грязнов // М.: Недра, 1978. – 192 С.
69. Третьяков И.О. Эколого-экономическое обоснование направлений использования выработанного подземного пространства: На примере предприятий угольной промышленности [Текст] // Автореф. Дис. ... канд. экон. наук: 08.00.19 / Третьяков Игорь Олегович. Москва, 1996.- 18 С.
70. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Ч. 1. Производственные процессы. / В.В. Ржевский // – М.: Недра, 1985. – 509 С.
71. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Ч. 2. Технология и комплексная механизация. / В.В. Ржевский // М.: Недра, 1985. – 549 С.
72. Моссаковский Я.В. Экономика горной промышленности. Учебник для вузов. – 2-е изд. / Моссаковский Я.В.// – М.: МГГУ, 2006. – 525 С.
73. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. – М., 1994. – 80 С.
74. Хохряков В.С. Оценка эффективности инвестиционных проектов открытых горных работ / В.С. Хохряков // – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1996.– 180 С.
75. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. Часть 1. / А.М. Гальперин // – М.: МГГУ, 2003 – 467 С.
76. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров. 2-е изд. пер. и доп. / А.И. Арсентьев // М.: Недра, 1970. С 319.
77. Пат. 2499139 Российская Федерация, МПК Е 21 С 41/26 (2006.01). Способ открытой разработки вытянутых месторождений крутопадающих залежей / А.И. Косолапов, А.И. Пташник, Ю.П. Пташник // – № 2012121238/03; заявл. 23.05.2012; опубл. 20.11.2013, Бюл. № 32. – 5 с.
78. Пат. 2013550 Российская Федерация. Способ разработки крутопадающих месторождений. / М.Л. Медведев, А.Г. Михайлов, А.Ф. Тетерин, В.И. Адамович, Г.Г. Егоров, В.И. Попов, В.П. Дюкарев. // Патент на изобретение № 2013550 от 30.05.1994.

79. Пат. 2097561 Российская Федерация. Способ разработки крутопадающих вытянутых месторождений / М.Л. Медведев, А.Г. Кузнецов. // Патент на изобретение № 2097561 от 27.11.1997.

80. Пат. 2132950 Российская Федерация. Способ комбинированной разработки месторождений. / Р.Б. Юн, В.И. Борщ-Компониец // Патент на изобретение № 2132950 от 10.07.1999

81. Пат. 2515649 Российская Федерация, МПК Е 21 С 41/00 (2006.01). Способ комбинированной разработки вытянутых месторождений крутопадающих залежей / А.И. Косолапов, А.И. Пташник, Ю.П. Пташник // – № 2013105043/03; заявл. 06.02.2013; опубл. 20.05.2014, Бюл. № 14. – 9 с.

82. Хантеев, В.Г. Технология буровзрывных работ на карьерах нерудных строительных материалов / В.Г. Хантеев, А.Е. Мосин //– М.: ВНИИЭСМ, 1983.

83. Штейнцайг Р.М. Фрезерные комбайны –эффективное оборудование для открытой разработки скальных пород / Р.М. Штейнцайг // Мировая горная промышленность 2004-2005: история достижения, перспективы. –М.: НТЦ Горное дело , 2005, С 298-318.

84. Бротанек И. Контурное взрывание в горном деле и строительстве. Пер. с чеш. Под ред. Б.Н. Кутузова. / И. Бротанек, Й. Вода //– М.: Недра, 1983. – 144 С.

85. Цейтлин Я.И. К расчету мощности охранного целика при взрывах. – В кн.: Взрывное дело 78/35. / Я.И. Цейтлин // М.: Недра, 1977. - С. 221 – 225.

86. Потапов М.Г. Экологическая оценка технологических схем открытых горных разработок / М.Г. Потапов, А.Н. Комраков // Горный журнал. – 2003. - № 3. – С. 81 – 86.

87. Томаков, П.И. Рациональное землепользование при открытых горных работах. / П.И. Томаков, В.С. Коваленко // – М.: Недра, 1984. – 213 С.

88. Арский, Ю.М. Рациональное природопользование в горной промышленности. Под ред. проф. Харченко В.А. / Ю.М. Арский, Н.А. Архипов и др.// – М.: Издательство МГГУ, 1995. – 444 С.

89. Томаков, П.И. Экология и охрана природы при открытых горных работах / П.И. Томаков, В.С. Коваленко, А.М. Михайлов, А.Т. Калашников //– М.: Издательство МГГУ, 1994. – 418 С.

90. Дриженко А.Ю. Восстановление земель при горных разработках / А.Ю. Дриженко // – М.: Недра, 1985. – 240 С.