

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»**

На правах рукописи



**ОВСЯННИКОВ МАКСИМ ПАВЛОВИЧ**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ И  
РАЦИОНАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РАСКОНСЕРВАЦИИ  
ВРЕМЕННО НЕРАБОЧЕГО БОРТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ОТКРЫТОЙ  
ГЕОТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ КРУТОПАДАЮЩИХ РУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Специальность**

**2.8.8. Геотехнология, горные машины**

**Диссертация**

**на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук**

**Научный руководитель  
профессор, доктор технических наук  
Гавришев Сергей Евгеньевич**

**Магнитогорск 2024**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСКОНСЕРВАЦИИ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧИХ БОРТОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ .....	10
1.1 Временно нерабочий борт и особенности технологии его формирования	10
1.2 Анализ технологических схем горных работ с использованием временно рабочего борта на карьере .....	24
1.3 Способы и технологические схемы возобновления работ на временно нерабочем борту .....	30
1.4 Оценка целесообразности формирования ВНБ при реализации открытой геотехнологии в условиях современного горнодобывающего предприятия.....	35
1.5 Выводы по первой главе .....	38
ГЛАВА 2 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧЕГО БОРТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ОТКРЫТОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	39
2.1 Анализ значимых факторов при определении конструкции временно нерабочего борта карьера .....	39
2.2 Анализ экскаваторно-автомобильных комплексов оборудования, используемого на временно нерабочем борту .....	47
2.3 Обоснование технологии формирования рабочего борта карьера с учетом обеспечения необходимых темпов расконсервации ВНБ .....	54
2.4 Выводы по второй главе .....	69
ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧЕГО БОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕМОВ КОНСЕРВАЦИИ И СКОРОСТИ РАСКОНСЕРВАЦИИ.....	72
3.1 Обоснование выбора технологических схем расконсервации временно нерабочего борта .....	72
3.2 Выбор и определение оптимальных параметров горнотранспортного оборудования при расконсервации временно нерабочего борта карьера.....	82
3.3 Технология ведения буровзрывных работ при расконсервации временно нерабочих бортов .....	96
3.4 Алгоритм определения параметров формируемого ВНБ с целью обеспечения необходимых объемов консервации и темпов расконсервации .....	107
3.5 Выводы по третьей главе .....	110

ГЛАВА 4 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСЛОВИЙ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ РАСКОНСЕРВАЦИИ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧЕГО БОРТА.....	112
4.1 Оценка эффективности технологических решений для карьера АО «Михеевский ГОК».....	112
4.2 Применение разработанных технических решений в разработке Михеевского месторождения медно-порфириновых руд.....	118
4.3 Экономическая оценка технологических схем формирования и расконсервации временно нерабочего борта для горнотехнических условий меднорудного Михеевского месторождения.....	130
4.4 Выводы по четвертой главе.....	138
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	139
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	143

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность работы

На протяжении всего периода развития горнодобывающей промышленности существует тенденция к увеличению проектных глубин разрабатываемых месторождений. При возрастании глубины карьера неизбежно возрастают и объемы вскрышных работ. Таким образом, возникли задачи целесообразности равномерного распределения выемки этих объемов во время всего срока эксплуатации месторождения. Существенный вклад в решение этих задач внесли такие ученые как: А.И. Арсентьев, В.В. Ржевский, Н.В. Мельников, В.С. Хохряков, Е.Ф. Шешко и др.

Формирование временно нерабочего борта (далее – ВНБ) является одним из эффективных инструментов по регулированию объемов вскрышных работ.

Основные способы разработки карьера с использованием временно нерабочего борта можно разделить следующим образом:

- временно нерабочий борт планируется и закладывается в проект еще на этапе проектирования карьера;
- в процессе эксплуатации месторождения и по результатам доразведки полезных ископаемых принимается решение о реконструкции действующего карьера с формированием временно нерабочего борта;
- в результате ряда возникших обстоятельств, в ходе не оптимальных проектных решений или неправильной эксплуатации временно нерабочий борт может быть сформирован внепланово путем возникновения сдвоенных и строенных уступов в рабочей зоне карьера.

В настоящее время на карьерах, отработывающих рудные крутопадающие месторождения полезных ископаемых, часто формируются временно нерабочие борта. Причины формирования нерабочих бортов могут быть различными, однако, использование ВНБ на карьере создает жесткую взаимосвязь между вскрышными и добычными работами. При формировании целика уменьшаются размеры рабочих площадок вплоть до размеров предохранительных берм, а в отдельных случаях

формируются сдвоенные уступы. На больших карьерах временно нерабочие зоны могут превышать 200 м в высоту и 1000 м в плане.

Своевременная расконсервация временно нерабочих бортов является приоритетной задачей. Динамика цен на рынке минерального сырья, а также воздействие внешних факторов часто негативно влияют на сроки расконсервации целиков. Практика отработки карьеров с использованием ВНБ показывает, что при увеличении сроков расконсервации существенно снижается производственная мощность карьера и, как следствие, ухудшаются технико-экономические показатели работы.

Решение этой проблемы возможно путем оптимизации конструкции ВНБ и параметров технологических схем расконсервации, способных обеспечить баланс между объемами консервируемой породы и скоростью ликвидации целика. Тип применяемого оборудования и порядок его ввода в работу оказывают непосредственное влияние на объемы и скорости расконсервации.

Таким образом, усовершенствование существующих схем и поиск новых технологических решений для эффективной расконсервации временно нерабочих бортов, а также обоснование порядка и очередности ввода оборудования в работу на разносимых горизонтах является актуальной задачей.

### **Цель работы**

Разработка методики обоснования параметров открытой геотехнологии, обеспечивающей выбор конструкции временно нерабочего борта, и определение порядка его расконсервации для оптимизации календарного графика при отработке крутопадающих рудных месторождений.

### **Идея работы**

Определение конструкции временно нерабочего борта карьера, объемов консервации и скорости расконсервации должно базироваться на разработанных методах выбора рациональных параметров технологических схем и горнотранспортного оборудования с учетом условий работы на площадках уменьшенного размера.

**Объект исследования**

Рабочая зона карьера с участком временно нерабочего борта.

**Предмет исследования**

Параметры технологических схем, обеспечивающие рациональную конструкцию временно нерабочего борта, порядок и скорость его расконсервации.

**Основные задачи исследования**

1. Анализ и обоснование технологических схем консервации и расконсервации временно нерабочих бортов.

2. Обоснование метода ведения открытых горных работ с использованием временно нерабочего борта с учётом горнотехнических условий разработки рудных крутопадающих месторождений.

3. Выбор и обоснование рациональных технологических схем и параметров расконсервации временно нерабочего борта на рудных крутопадающих месторождениях.

4. Обоснование метода определения конструкции временно нерабочего борта и параметров расконсервации для обеспечения выполнения календарного графика.

5. Экономическая оценка технологических схем формирования и расконсервации временно нерабочего борта для горнотехнических условий Михеевского меднорудного месторождения.

**Методы исследования**

В исследовании использованы методы комплексного анализа теоретических исследований и производственного опыта разработки месторождений открытым способом с формированием временно нерабочего борта; статистической обработки данных; математического моделирования; визуализации функциональных связей; анализа чувствительности критических переменных, влияющих на объёмы консервации; определения оптимальной конструкции временно нерабочего борта и параметров технологических схем расконсервации; экономической оценки технологических решений.

**Положения, выносимые на защиту**

1. Оценку степени влияния параметров временно нерабочего борта и скорости его разноса на консервируемые объемы вскрыши необходимо проводить на основе анализа чувствительности важнейших факторов и критических переменных, оказывающих существенное влияние на выбор конструкции ВНБ и эффективность реализации технических решений.

2. Обоснование параметров технологической схемы расконсервации временно нерабочего борта должно проводиться с учетом планируемого количества и вида горного оборудования, очередности ввода его в работу, продолжительности расконсервации и подготовки горизонта, зависящее от параметров экскаваторного блока и скорости его отработки.

3. Для получения оптимального календарного графика горных работ необходимо поддержание баланса между объемами консервации и скоростью расконсервации временно нерабочего борта, обеспечиваемого выбором технологической схемы с оптимальными параметрами и конструкцией ВНБ, типом и количеством применяемого на расконсервации оборудования.

### **Научная новизна работы**

1. Предложена методика оценки степени влияния параметров временно нерабочего борта и скорости его разноса на консервируемые объемы пустой породы основанная на анализе чувствительности основных параметров и обеспечивающая выбор его конструкции.

2. Предложена методика обоснования параметров открытой геотехнологии при разработке крутопадающих рудных месторождений с консервацией вскрышных пород во временно нерабочем борту и выбора рациональной технологической схемы его расконсервации с учетом применяемого комплекса рабочего оборудования и технологии производства буровзрывных работ.

3. Установлена зависимость между числом одновременно задействованных экскаваторных комплексов при ликвидации временно нерабочего борта и временем его расконсервации, позволяющая обосновать выбор оптимального количества экскаваторного оборудования с учетом требуемой скорости расконсервации.

### **Достоверность результатов**

Гарантируется использованием передовых методик научного анализа, математического прогнозирования через специализированные программные продукты, проектной и фактической документации деятельности как российских, так и иностранных предприятий-аналогов; анализа о тенденциях развития современных карьеров, рынка минеральных ресурсов и горного оборудования; экономико-технических анализов предлагаемых решений.

**Личный вклад автора** заключается в постановке цели и задач исследования; разработке методики оценки влияния параметров временно нерабочего борта и скорости его разноса на консервируемые объёмы вскрыши; обосновании выбора конструкции временно нерабочего борта и параметров технологической схемы расконсервации; обосновании параметров выбора технологических схем буровзрывной подготовки, выемки взорванной горной массы и транспортирования при работах по погашению временно нерабочего борта с учётом применяемого горного оборудования; разработке методики для обеспечения баланса между объёмами консервации и скоростью расконсервации с целью построения оптимального календарного графика горных работ.

**Практическая ценность работы** заключается в разработанных методах выбора оптимальных параметров конструкции временно нерабочего борта и технологических схем расконсервации при отработке рудных крутопадающих месторождений, применение которых позволяет увеличить объёмы консервируемой в целике породы и скорость его расконсервации.

### **Апробация работы**

Положения и основные результаты работы представлялись и обсуждались на: Международной научно-практической конференции «Молодежная наука как фактор и ресурс инновационного развития» (г. Петрозаводск, 2020 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: эффективное освоение месторождений полезных ископаемых» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.); IV Международной научно-практической конференции «Горное дело в XXI веке:



технологии, наука, образование» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.); LXII Международной научно-практической конференции «Российская наука в современном мире» (г. Москва, 2024 г.).

### **Публикации**

Основные положения диссертации опубликованы в 7 научных работах. Из них 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ и входящих в международные базы цитирования Web of Science; 2 – в прочих изданиях.

### **Объем и структура диссертации**

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, изложена на 155 страницах печатного текста, включает 39 рисунков и 22 таблицы, библиографический список содержит 116 источников.

# ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСКОНСЕРВАЦИИ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧИХ БОРТОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

## 1.1 Временно нерабочий борт и особенности технологии его формирования

Современная горнодобывающая промышленность характеризуется наращиванием производственных мощностей и объемов выпускаемой продукции. Это напрямую связано с возрастающими темпами экономического роста [110,115]. Предприятия, разрабатывающие рудные месторождения открытым способом, также подвержены влиянию общемировых трендов. Сегодня существует объективная тенденция значительного увеличения проектных глубин карьеров (рисунок 1.1). Из-за этого растёт текущий коэффициент вскрыши и усложняются организационно-технические мероприятия на руднике [101].

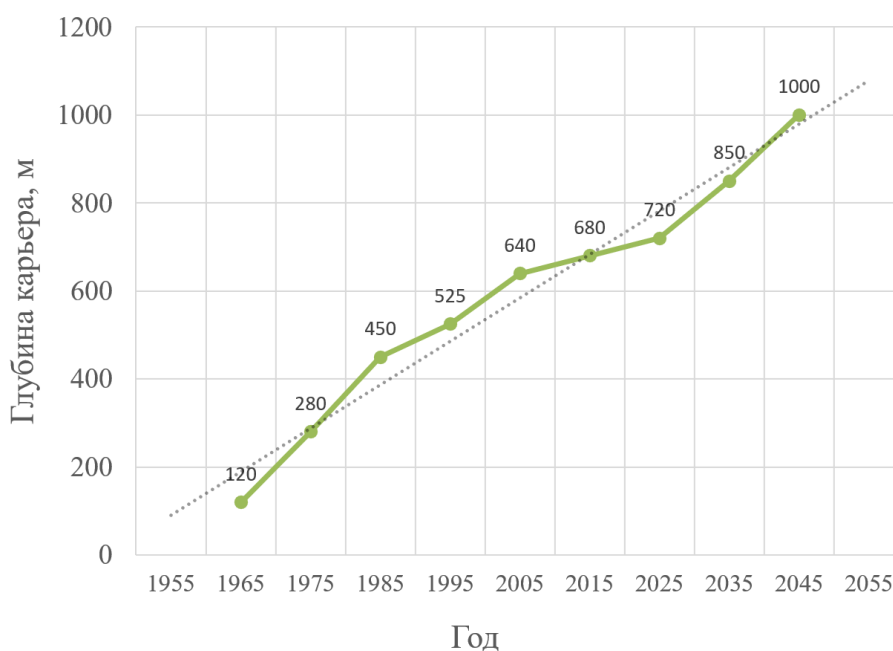


Рисунок 1.1 – Динамика изменения максимальных глубин карьеров

Технология отработки глубоких месторождений полезных ископаемых с использованием временно нерабочего борта (ВНБ) встречается на 95% современных глубоких карьерах [23,27,34,36]. Характеристики рабочей зоны карьера определяются горно-геологическими условиями месторождения, выбранной технологией и темпами добычи.

Для уменьшения текущего коэффициента вскрыши возможно создание временно нерабочих зон на участках рабочего борта. Создание ВНБ – это необходимое техническое решение, позволяющее решить ряд проблем, связанных с регулированием календарного графика вскрышных работ, коэффициента вскрыши, а также является способом интенсифицировать производительность месторождения по полезному ископаемому и улучшить технико-экономические показатели отработки.

В течение долгих лет развития горнодобывающей отрасли был накоплен значительный опыт в области формирования и расконсервации временно нерабочих бортов. Можно выделить ряд ученых, которые занимались исследованиями или в настоящее время продолжают научные изыскания по данной проблематике: Е.Ф. Шешко, А.И. Арсентьев, В.В. Ржевский, В.С. Хохряков, Б.П. Юматов, Ж.В. Бунин, Ю.И. Анистратов, Н.В. Мельников, К.Н. Трубецкой, С.Е. Гавришев, В.П. Линева, С.И. Фомин, Г.А. Холодняков, А.И. Косолапов, К.В. Бурмистров и многие другие.

Академик В.В. Ржевский в работе [75] доказал целесообразность отработки карьера периодами с неизменными объемами вскрыши. Регулирование этих объемов во времени становится возможным путем изменения угла откоса рабочего борта карьера и направления углубки карьера. А.И. Арсентьев, изучал возможность определения наиболее рациональной схемы развития горных работ. Он предложил формировать календарный график вскрышных работ путем уменьшения ширины рабочей площадки уступа [9,12,19,59].

При разработке глубоких крутопадающих месторождений регулирование календарного плана вскрышных работ путем изменения размеров рабочих площадок трудноосуществимо ввиду ограниченного места в рамках карьерного поля [58]. Основной задачей по улучшению экономической эффективности отработки месторождений является снижение текущих объемов вскрыши [48]. Для достижения данной цели на глубоких карьерах уже многие десятилетия успешно применяются различные варианты технологических схем, включающие формирование ВНБ с целью консервации пород в отдельных участках карьера.

Подобные схемы характеризуются тем, что выбранная часть фронта горных работ на время выводится из эксплуатации, а выемка законсервированных объемов относится на более поздние периоды времени [3,25,33,53, 66, 79,85].

Теоретическая база в области регулирования объемов вскрышных работ на карьерах этапными схемами и создания временно нерабочих бортов были разработаны рядом ученых и освещены в работах В.В. Ржевского [76], А.И. Арсентьева [11], В.С. Хохрякова [69,99,100], Б.П. Юматова и Ж.В. Бунина [107], а также многих других.

Несмотря на достаточно большой объем изысканий, проведенных в вопросе формирования ВНБ в прошлом, в настоящее время проблема остается актуальной. Так, ученые: Б.Л. Тальгамер, К.П. Галайда, А.И. Косолапов, А.И. Пташник, В.Л. Яковлев, Г.Г. Саканцев, А.В. Яковлев, Т.М. Переход и др. разработали и запатентовали новые методики для формирования и расконсервации временно нерабочих бортов карьеров [61,63,62,64,65].

В геотехнологию открытой разработки месторождений полезных ископаемых с использованием временно нерабочих бортов рядом научно-исследовательских институтов и проектных организаций внесён существенный вклад в практику технологии этапной отработки месторождений: Московский горный институт, Ленинградский горный институт, институт горного дела им. А.А. Скочинского, Московский геологоразведочный институт, Свердловский горный институт им. В.В. Вахрушева, Магнитогорский государственный технический университет, институт горного дела Министерства чёрной металлургии СССР, Криворожский горнорудный институт, Гипроруда, Гипроцветмет, Унипромеди, Кривбасспроект, Южгипроруда, Сибцветметниипроект, Уралгипрошахт и др. [5].

В научном труде [100] профессор В.С. Хохряков совместно с П.Т. Церенщиковым доказывают, что экономическая эффективность проекта напрямую зависит от объема пустых пород, подлежащих оставлению в целике, и времени их консервации. Экономическая эффективность возрастает с увеличением объемов целика, а также увеличивается с переносом времени начала расконсервации нерабочего борта. Таким образом, выбор времени консервации

вскрыши во временно нерабочем борту определяется исходя из экономических факторов отработки карьера. Применение этапов должно обеспечивать сокращение приведенных затрат на разработку в отличие от варианта отработки месторождения без выделения этапов. Приведенные затраты необходимо оценивать за весь период работы карьера, учитывая дисконтирующий фактор.

В работах В.П. Линева [49,50,51] исследованы связи между характеристиками и параметрами нерабочего и рабочего бортов карьера. Среди таких параметров можно выделить:

- скорость разработки месторождения, которая, в первую очередь, определяется скоростью понижения уровня горных работ и горизонтальной скоростью продвижения борта карьера;
- расположение и размеры предохранительного целика относительно земной поверхности;
- скорость выполаживания временно нерабочего борта (ВНБ) карьера.

Существует жесткая взаимосвязь представленных параметров, поэтому её необходимо учитывать при проектировании работ по консервации и расконсервации целиков. В противном случае, есть риск возникновения ситуаций отставания от плана горных работ и, как следствие, – отсутствие возможности безопасно и в срок расконсервировать нерабочий борт.

Отработка месторождения с применением этапных схем разработки практически всегда предполагает наличие временно нерабочего борта в контурах карьера [8,71,98]. При таком способе разработки производственная мощность карьера будет зависеть от скорости его углубки, количества и типа горного оборудования. Использование ВНБ на этапных технологических схемах предполагает разделение рабочей части на участки добычной зоны и разноса нерабочего борта (рисунок 1.2) [66, 79, 96].

Обеспечение выполнения календарного графика добычных работ обеспечивается путем совмещения, а иногда чередования работ в добычной зоне и зоне расконсервации целика.

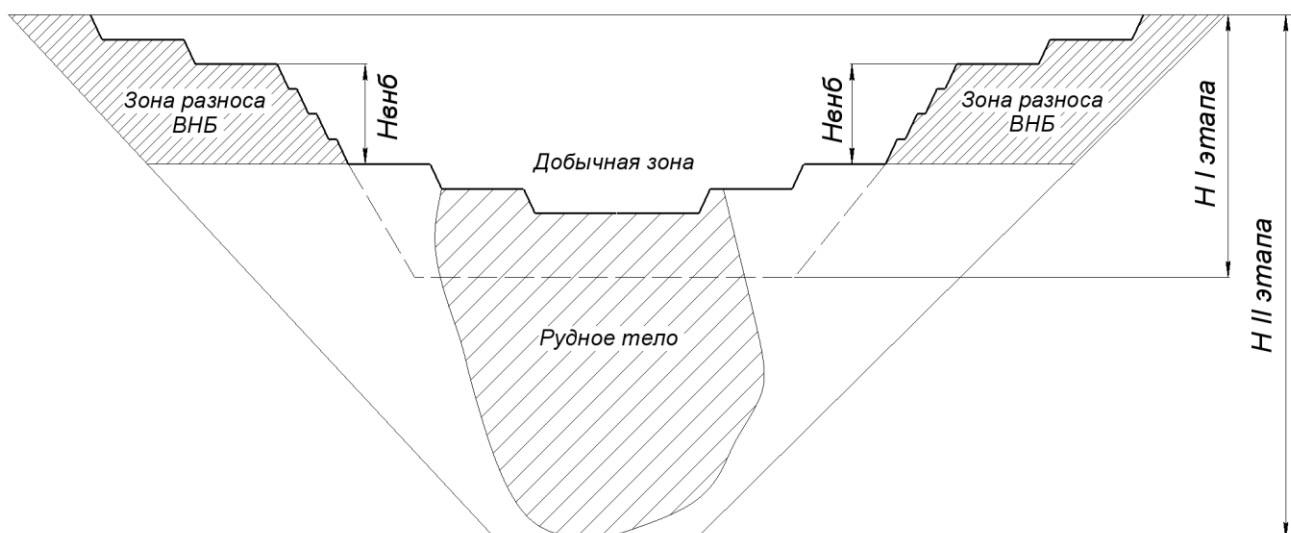


Рисунок 1.2 – Технологическая схема отработки рудного крутопадающего месторождения этапами

$H_{ВНБ}$  – высота временно нерабочего борта;  $H_{ЭТАПА}$  – высота этапа.

Основываясь на фундаментальных теоретических исследованиях и практическом производственном опыте можно утверждать, что применение временно нерабочего борта позволяет эффективно управлять текущим коэффициентом вскрыши, законсервировав часть объемов пустой породы [31,49,72,100]. Однако, в ходе неправильной эксплуатации месторождения или под влиянием внешних факторов может произойти ситуация, когда ВНБ формируется внепланово и такая ситуация очень отрицательно влияет на все технико-экономические показатели. Так, при разработке глубоких карьеров может возникнуть ситуация, когда происходит опережение добычными работами вскрышных. Это приводит к уменьшению размера рабочих площадок вплоть до размеров ширины предохранительной бермы, оставляемой по условиям безопасности. Такая ширина рабочих площадок не может обеспечить нормальную работу горнотранспортного оборудования и, как следствие, борт карьера или его часть становятся временно нерабочими.

В работе [38] Т.В. Донченко приводит систематизацию плановых и внеплановых причин формирования ВНБ на карьерах, таблица 1.1.

Все причины формирования ВНБ можно разделить на плановые и внеплановые. И, если в первом случае, при целенаправленном проектировании временно нерабочий борт позволяет интенсифицировать производительность

и выровнять пиковые значения на календарном графике, то возникновение внепланового нерабочего борта может привести к очень серьезным проблемам, вплоть до полной остановки производства. Поскольку именно работы по расконсервации нерабочего борта требуют заблаговременной подготовки, а выбор времени их начала является комплексной задачей [105].

При реконструкции горных предприятий часто происходит пересмотр проектных контуров действующего карьера. На северном участке карьера Малый Куйбас был сформирован временно нерабочий борт с полной остановкой добычных работ, в ходе реализации проекта реконструкции ВНБ был ликвидирован [34].

В России из-за сложной экономической ситуации, а также в ходе принятия неоптимальных проектных решений многие предприятия столкнулись с невозможностью выполнения календарного плана по производительности карьера и часто имеет место ситуация формирования стихийных нерабочих бортов. Такое решение позволяет решить проблему падения производительности, однако в будущем имеет последствия в виде существенного отставания работ по выемке вскрышных пород от календарного плана. Это отрицательно сказывается на параметрах и показателях разработки месторождения и ведёт к снижению скорости отработки карьера и ухудшению технико-экономических показателей. Такие случаи известны на Криворожском, Оленегорском, Костомукшском и многих других горнодобывающих предприятиях. Работы по расконсервации таких ВНБ требуют особых методик, так в работе [38] представлен метод расконсервации с формированием насыпной призмы в основании временно нерабочего борта.

Таблица 1.1. – Причины формирования временно нерабочих бортов карьера

Плановые	Размещение на рабочем борту карьера полустационарных объектов			
	Регулирование объемов вскрышных работ			
	В период строительства карьеров		Во время эксплуатации карьеров	
Внеплановые	Внутренние	Ухудшение горно-геологических условий отработки		
		Необеспеченность оборудованием для постановки борта в конечное положение		
		Отставание вскрышных работ от проекта		
		В результате нарушения законов развития карьерного пространства	По причине нехватки оборудования	Вследствие неподтвержденной геологической информации
	Внешние	Ухудшение экономической ситуации		
		Расположение на дневной поверхности технологических объектов в контурах открытых работ		
		Ухудшение горно-геологических условий		
		Пересмотр проектных решений		
		Расширение границ карьеров		
		За счет потерь полезного ископаемого при подземной разработке месторождений	За счет прироста запасов, ранее предназначавшихся для подземной отработки	В результате доразведки месторождений



При возникновении внепланового временно нерабочего борта на карьере создается жесткая взаимосвязь процессов вскрышных и добычных работ. В таблице 1.2. приведены примеры месторождений, где был нарушен баланс объемов консервации и темпов расконсервации.

Таблица 1.2. – Примеры месторождений с нарушением темпов расконсервации

Месторождение	Последствия нерационального использования ВНБ
Карьер «Кия-Шалтырский» нефелиновый рудник (Кемеровская область)	Вскрышное отставание около 14,2 млн м <sup>3</sup>
Карьер «Восточный» Олимпиадинского золоторудного месторождения	Отставание вскрышных работ на карьере
Разрез «Лучегорский №1» Бикинского бурогоугольного месторождения	Сокращение подготовленных запасов до уровня в 5 раз меньше нормативного, а также возникновение оползней и обрушений
Карьер «Центральный» Костомукшского железорудного месторождения	Снижение производительности с 24 до 20 млн т/год
Карьер «Железный» Ковдорский ГОК	Отставание вскрышных работ на карьере
Карьер «Малый Куйбас»	Остановка работ в добычной зоне Северного участка

В международной практике разработки глубоких карьеров также существует проблема организации работ и управления объёмом вскрышных пород. Эта проблема усугубляется в сложных условиях, которые неизбежно возникают при сужении рабочей зоны и на участках со стихийно возникающими нерабочими бортами, требующими своевременной расконсервации [112,113,116].

Если сроки расконсервации увеличиваются, то это значительно снижает производительность карьера, вскрышные работы начинают отставать от плана, а экономические показатели ухудшаются. В результате работы на карьере или его части могут быть полностью остановлены, подобная ситуация имела место на месторождении Малый Куйбас [22].

Целенаправленное решение о применении технологии с формированием временно нерабочего борта обуславливается потребностью в улучшении технико-экономических показателей отработки карьера, однако эффективность будет

напрямую зависеть от угла наклона ВНБ, а также скорости последующей его расконсервации. С увеличением угла наклона существенно увеличиваются и объемы законсервированных пород, а скорость расконсервации влияет на календарный график ведения горных работ. Угол наклона ВНБ зависит от геологических условий и не может превышать допустимые нормами безопасности значения. Превышение этих значений может привести к обрушениям, камнепаду или сползанию борта в рабочее пространство карьера.

Беря во внимание все эти факторы, угол откоса при формировании временно нерабочего борта должен быть максимально допустимым и приближенным к углу борта карьера на момент окончания работ, но при этом обеспечивающими безопасные условия отработки месторождения [110].

Один из вариантов, когда формирование временно нерабочего борта планируется во время проектирования отработки месторождения – это отработка карьеров этапами. Необходимо выделить, что под «разработкой с применением этапов», «этапные схемы», «разработка очередями на карьере», «формирование временно нерабочего борта» и другими схожими терминами понимается определённый порядок ведения горных работ, при котором график развития вскрышных работ имеет ступенчатый, поэтапный вид, с увеличением во времени объёма извлекаемой вскрышной породы. Такой вид описанный график принимает, как правило, из-за консервации части вскрышной породы на карьере и постепенного, «поэтапного» увеличения используемых производственных мощностей на месторождении. Формируемый целик применяется при использовании этапов, в рамках нескольких эксплуатационных периодов отработки карьера, а также возможно его применение внутри одного такого периода. Во время понижения горных работ и увеличения высоты временно нерабочего борта ширина рабочей зоны на нижних горизонтах уменьшается, одновременно с этим на верхних горизонтах ВНБ производятся работы по увеличению ширины площадок и начинаются работы по ликвидации целика. Таким образом, возможна оптимизация календарного графика вскрышных работ путём варьирования извлекаемых объёмов пустых пород.

При использовании поэтапных схем также возможно строить в рабочей зоне карьера полустационарные объекты различного типа.

В работах [73, 75] академик В.В. Ржевский обосновывает эффективность метода поэтапной отработки и доказывает, что формирование рационального режима горных работ способствует улучшению технико-экономических показателей разработки карьера.

Использование технологических схем с выделением этапов даёт возможность расширить область ведения работ и проектировать карьеры с большей глубиной. При разделении карьера на очереди первоначально стараются обеспечить работу карьера во время нормативного срока амортизации основных фондов, включив в отработку требуемые запасы полезного ископаемого. Наравне с этим стоит задача по снижению коэффициента вскрыши во время отработки первого этапа путем переноса работ по выемке части пустой породы в будущие этапы [89,95].

Профессор А.И. Арсентьев исследовал тенденции отработки временно нерабочих бортов карьера, выявил параметры формирования ВНБ и определил их главные зависимости. В числе ключевых характеристик были отмечены скорости строительства целиков, а также горизонтальная и вертикальная скорости погашения временно нерабочего борта.

В проектном институте Гипроруда разрабатывался проект на разработку Николаевского месторождения. На практике было доказано, что отработка карьера двумя очередями экономически эффективнее, чем аналогичный проект отработки одной очередью. Такой результат удалось достичь за счет уменьшения объема вскрышных работ в первые годы отработки карьера. Вместе с этим, было изучено влияние объемов консервируемых пород на коэффициент вскрыши и определено его соотношение с коэффициентом вскрыши при отработке месторождения без выделения этапов. Установлено, что поэтапная разработка позволяет более эффективно управлять средним коэффициентом вскрыши. Это благоприятно сказывается на экономической составляющей проекта [10,13, 15,94].

Учеными было проведено множество научных изысканий, связанных с отработкой карьера с выделением ВНБ и применением этапных схем. Результатом этих исследований стало формирование базовых методик проектирования рудных крутопадающих месторождений, обоснования конструкций ВНБ и вариантов технологических схем консервации и расконсервации. Анализ предлагаемых проектных решений выполняется на основе календарного планирования и принятого режима горных работ. Так как вариантов формирования технологических схем отработки карьера этапами имеется большое количество, необходимо определить оптимальный из них. Принятие проектного решения зависит от множества факторов, в том числе таких как: горно-геологические условия отработки месторождения, параметров и размеров карьерного поля, принятого способа механизации и системы разработки карьера.

На рисунке 1.3 представлена схема отработки рудного крутопадающего месторождения этапами с формированием временно нерабочего борта, также рассмотрен вариант отработки карьера без применения этапов. Классический вариант разработки месторождения предполагает развитие горных работ от лежащего бока залежи к висячему. Объемы извлекаемой пустой породы возрастают линейно в первые годы, а затем постепенно снижаются на этапе доработки месторождения (рисунок 1.4, линия 1).

Вариант разработки карьера с формированием временно нерабочего борта (рисунок 1.3). Первоочередно извлекается порода из контура BCDE в то время, как формируется ВНБ и консервируется объем породы в контуре ABGF. Участок рабочего борта BG принимает положение, приближенное к углу борта карьера на конец отработки. После отработки всего объема горной массы из контура BCDE производится ликвидация сформированного ранее целика ABGF. Начало работ по расконсервации целесообразнее начинать заблаговременно и проводить одновременно с добычными работам, чтобы в будущем исключить вскрышное отставание [111].

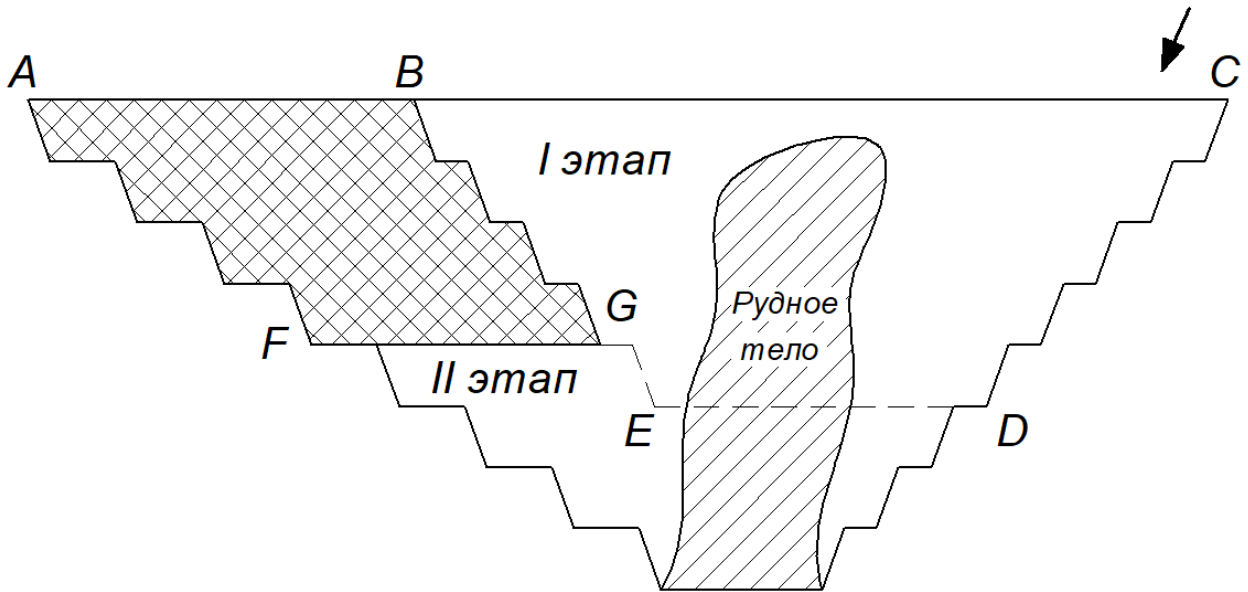


Рисунок 1.3 – Схема отработки карьера с использованием ВНБ

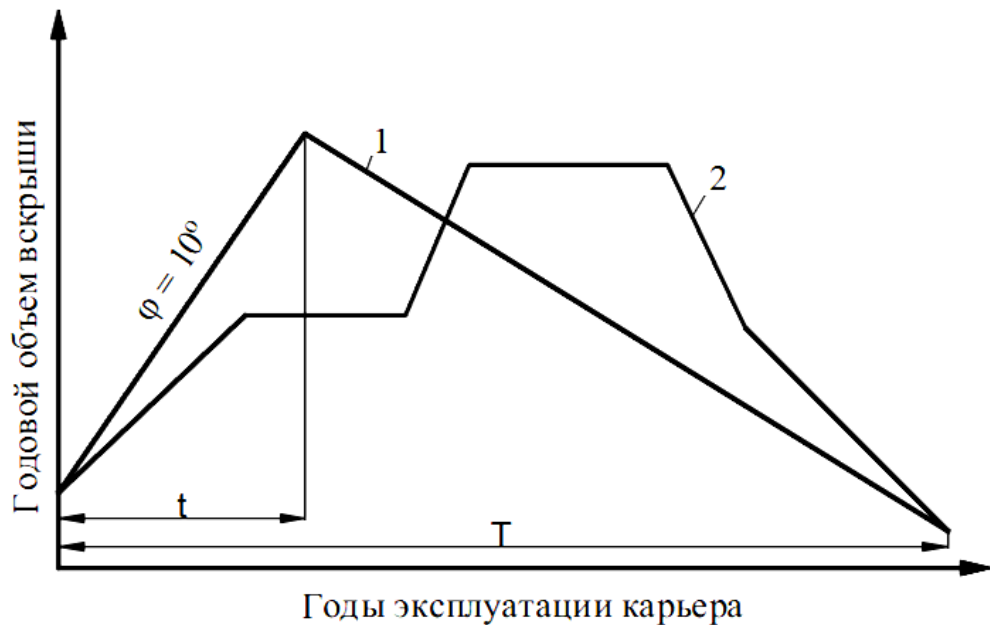


Рисунок 1.4 – Изменение извлекаемых объемов вскрыши во время отработки карьера  
 1 – отработка месторождения от лежащего бока залежи к висячему без формирования целиков;  
 2 – с использованием технологии консервации пород во ВНБ

Для соблюдения проектных сроков формирования конечных контуров карьера, а также его производительности по руде необходимо обеспечивать достаточную скорость углубки в течение срока расконсервации целика.

Выбирая место расположения временно нерабочего борта, важно оценивать всю совокупность экономических, горно-геологических, а также горнотехнических параметров и показателей. Оценивая практику разработки карьеров с ВНБ, можно

заклучить, что временно нерабочий борт может быть как существенных размеров и располагаться на большей части периметра карьера, так и находиться лишь в торцевой части или на одном из бортов.

Важным условием функционирования карьера с временно нерабочим бортом является выполнение требований безопасности ведения горных работ. По этим требованиям угол откоса ВНБ не должен превышать углы устойчивости бортов карьера. Конструкция временно нерабочего борта должна обеспечивать необходимую интенсивность работ по его разному. Конструктивно ВНБ можно разделить на два типа: сплошной нерабочий борт с минимальными бермами безопасности и площадками, близкими по ширине к ним; комбинированный тип, характеризующийся наличием минимальных и увеличенных рабочих площадок. На глубоких месторождениях сплошной временно нерабочий борт не применяется, как правило, он имеет небольшую высоту и используется для расположения в карьере полустационарных сооружений и объектов.

Временно нерабочий борт характеризуется основными параметрами такими, как: высота, протяженность, угол наклона, ширина площадок, а также количество и высота уступов [50,51,77,102]. Угол наклона временно нерабочего борта может быть приближен к углу устойчивости борта, обеспечиваемый геомеханическими свойствами вмещающих пород и достигать высоких значений (1.1)

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\sum h_y}{\sum B + \sum h_y \cdot \operatorname{ctg}a} \quad (1.1)$$

где  $\beta$  – угол наклона ВНБ, град;

$h_y$  – высота уступа, м;

$a$  – угол откоса уступа, град;

$B$  – ширина рабочей площадки, м.

На рисунке 1.5 представлены конструкции сплошного и комбинированного временно нерабочего борта

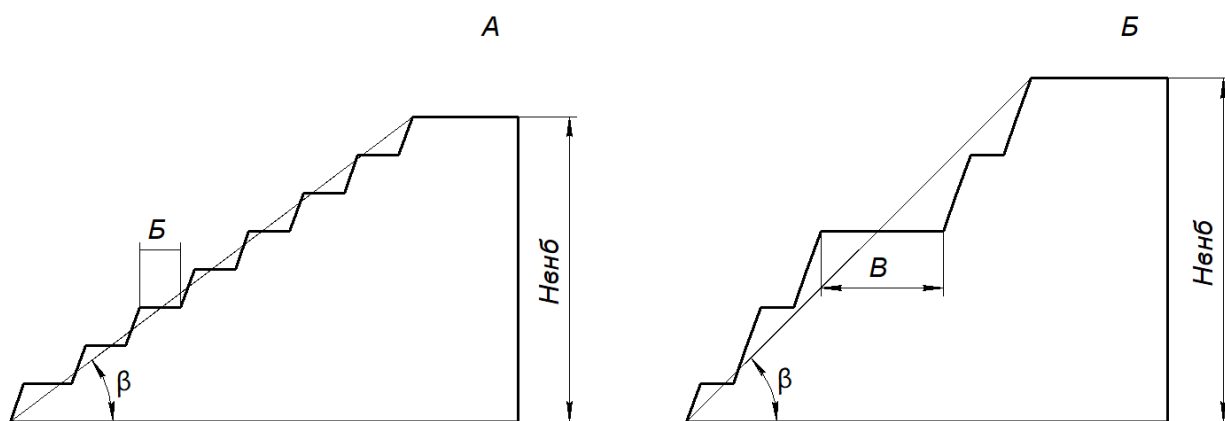


Рисунок 1.5 – Конструктивные особенности временно нерабочих бортов карьера  
 А – временно нерабочий борт со сплошной конструкцией; Б – временно нерабочий борт с комбинированной конструкцией

Размер ширины площадок, оставляемых на временно нерабочем борту, не может быть меньше, чем минимально допустимая ширина берм безопасности. На высоких ВНБ уменьшенные рабочие площадки чередуются с нерабочими площадками и должны отвечать требованиям размещения на них развала взорванной горной массы, а также отвечать условиям безопасной работы выемочно-погрузочного оборудования (формула 1.2)

$$\begin{aligned} B_0 &\geq Б \\ B &\geq B_p \end{aligned} \quad (1.2)$$

где  $B_0$  – ширина нерабочей площадки на ВНБ, м;

$Б$  – ширина бермы безопасности, м;

$B$  – ширина уменьшенной площадки на ВНБ, м;

$B_p$  – ширина развала взорванной горной массы, м.

При планировании конструкции временно нерабочего борта необходимо учитывать скорость понижения горных работ. При увеличении угла ВНБ на 1 градус, объемы консервации увеличиваются в среднем на 5%. Параллельно с этим, увеличивается объём будущих работ по расконсервации целика, что ведёт к снижению скорости его ликвидации и замедлению процесса углубки карьера [14,19]. Если максимальный угол наклона нерабочего борта не позволяет достичь нужной скорости расконсервации, необходимо его формировать более пологим, используя для этого площадки большей ширины. Для оптимизации работы и

увеличения интенсивности разноса ВНБ по возможности необходимо совмещать работы на уступах борта.

Размеры оставляемых уменьшенных рабочих площадок на временно нерабочем борту существенно зависят от параметров горнотранспортного оборудования, применяемого в зоне разноса ВНБ.

## 1.2 Анализ технологических схем горных работ с использованием временно рабочего борта на карьере

При применении технологических схем с временно нерабочим бортом на карьере важно определить границы создания предохранительного целика и сроки консервации вскрышных пород.

Типичные схемы разделения карьера на этапы разработки при использовании ВНБ представлены на рисунке 1.6, стрелками обозначено направление разноса нерабочего борта карьера при его расконсервации [16].

Схема	I этап	II этап	III этап	IV этап
а			—	—
б			—	—
в				—
г				
д				—
е			—	—

Рисунок 1.6 – Технологические схемы разделения карьера на этапы отработки при использовании ВНБ



При выборе границ временно нерабочего борта учитывают экономические, геологические и технические характеристики и критерии. На практике нерабочий борт использовался на множестве месторождений, при этом случается так, что большая часть борта карьера подлежит консервации. В качестве примера можно привести следующие карьеры, на которых использовалась технология с созданием ВНБ: Николаевское и Сибайское медно-цинково-колчеданные месторождения, Коныратское месторождение меди, а также Баженовское месторождение хризотил-асбеста.

Практика использования временно нерабочих бортов на карьерах показывает, что целик формируется в большей части рабочего борта карьера. Но, как правило, ВНБ располагается только в определённой зоне карьера, на одном из его торцов или борте.

Определение метода размещения ВНБ на торцах карьера или вдоль его простирания зависит от отношения длины карьера в плане к его ширине (рисунок 1.6 а, б). Временно нерабочий борт лучше располагать в торце карьера, если его длина в 1,5-2 раза больше ширины при использовании железнодорожного транспорта и в 1,2-2 раза – при использовании автомобильного транспорта.

Увеличить объемы горной массы, консервируемой в целике, возможно за счет размещения временно нерабочего борта вдоль большей части контура карьерного поля (рисунок 1.6, в). Такой способ расположения ВНБ подходит для небольших по периметру карьеров. Подобные технологические схемы успешно использовали на Сибайском, Коркинском, Николаевском и Коундарском карьерах [7].

На рисунке 1.6 г представлена схема консервации двух бортов карьера попеременно. На нерабочем борту формируются транспортные пути, когда все добычные работы ведутся на рабочем борту. После отработки первого этапа временно нерабочий борт расконсервируется, а транспортные узлы переносятся на второй борт. **Этот метод эффективно применялся** на Баженовских месторождениях хризотил-асбеста.

В зависимости от геологического расположения руды иногда целесообразно делить разработку месторождения на отдельные зоны с очередной их разработкой (см. рисунок 1.6, д). Такой подход использовался при разработке карьеров Донского рудоуправления.

Кроме того, успешно применялись технологические решения, когда отработка месторождения осуществляется отдельными изолированными карьерами, а затем они объединяются в одно карьерное поле (рисунок 1.6, е). С применением такой схемы велась разработка Баженовских месторождений хризотил-асбеста. Изначально было пять отдельных карьеров для каждой рудной залежи, которые затем объединили в три карьерных поля.

Опираясь на производственный опыт и практику проектирования карьеров, а также учитывая экономическое обоснование, определены закономерности формирования нерабочих бортов, соотношение количества и высоты совмещенных уступов и угла наклона временно нерабочего борта (таблица 1.2) [7].

Главный недостаток технологии с формированием временно нерабочего борта в контуре карьера заключается в том, что неизбежно возникают сложности с организацией ведения горных работ. Формирование временно нерабочего борта приводит к увеличению сроков и усложнению процесса планирования развития фронта работ, а также появляется потребность в специализированном оборудовании. Во время расконсервации ВНБ наблюдается определенное ухудшение экономических показателей, поскольку в период реконструкции увеличиваются объемы вскрышных работ.

Несмотря на имеющиеся недостатки, применение технологических схем разработки карьера с выделением временно нерабочего борта имеет ряд преимуществ [7]:

1. Повышение технико-экономической эффективности при определенных геологических условиях залегания полезных ископаемых и горнотехнических параметрах отработки месторождения.

2. Уменьшение капитальных затрат в период строительства рудника, а также сокращение эксплуатационных расходов в первые годы функционирования карьера.

3. Сокращение времени и объёма горно-подготовительных и горно-капитальных работ может привести к уменьшению продолжительности строительства.

4. Нарращивание показателя производственной мощности карьера достигается за счёт увеличения скоростей отработки запасов полезных ископаемых месторождения.

5. Сокращение объёмов эксплуатационных геологоразведочных работ на больших глубинах залегания полезных ископаемых.

6. Повышение доступности работ по реконструкции карьера, надёжности принимаемых технологических и проектных решений, а также улучшение достоверности будущих планов по развитию горных работ и возможности их корректирования. Это позволяет минимизировать риски реализации проектных планов и сократить экономические затраты.

Говоря об этапных схемах, чаще всего подразумевается наличие временно нерабочего борта. При проектировании ВНБ существуют различные варианты формирования рабочей зоны карьера, а также есть определенные конструктивные требования к временно нерабочему борту. Так, ВНБ должен отвечать следующим критериям: обеспечивать простоту его формирования и расконсервации, предоставлять транспортный доступ, отвечать условиям безопасности, а также обеспечивать требуемый результирующий угол откоса борта карьера.

Конструктивно ВНБ можно разделять на два вида: с оставлением транспортных берм и с оставлением на уступах предохранительных берм.

Самый простой вариант предполагает создание на ВНБ одинарных уступов одинаковой высоты с оставлением транспортных берм (рисунок 1.7, а). Недостатком такого подхода является очень маленький результирующий угол борта, составляющий порядка 25-35°. При таком угле консервируется достаточно небольшой объем вскрышной породы [30,35,80].

Для увеличения угла откоса нерабочего борта необходимо использовать конструкцию ВНБ, при которой формируются сдвоенные уступы с оставлением транспортных берм. На карьерах также имеет место практика использования строенных уступов. Конструктивно такой временно нерабочий борт имеет достаточно большой угол откоса, достигающий  $35-50^\circ$ , при этом ширина оставляемых транспортных берм позволяет проводить работы по расконсервации (рисунок 1.7, б). Достижение более крутого результирующего угла на ВНБ является нецелесообразным, поскольку сильно осложняются работы по его расконсервации [30,35,80].

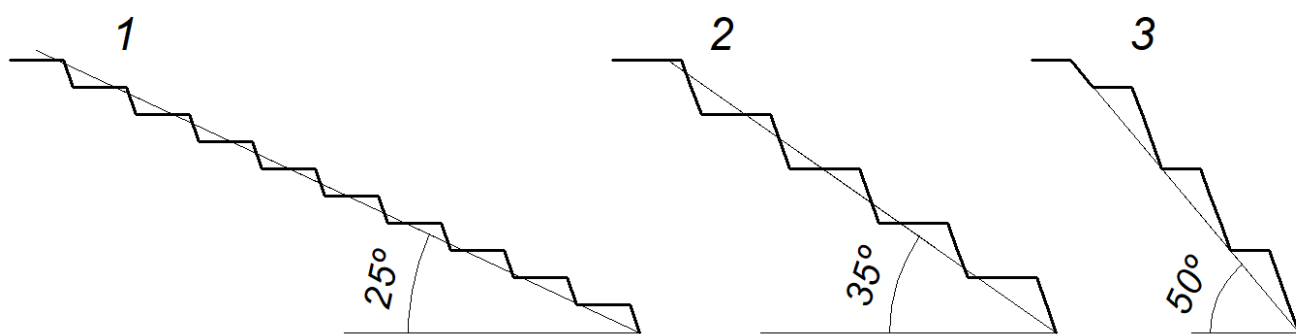


Рисунок 1.7 – Конструктивные схемы временно нерабочего борта

1 – временно нерабочий борт, состоящий из одиночных уступов; 2 – временно нерабочий борт, состоящий из сдвоенных уступов; 3 – временно нерабочий борт, состоящий из строенных уступов

Выбор конструктивной схемы временно нерабочего борта зависит от размеров площадок и уступов, которые определяются в соответствии с горно-геологическим строением, принятой технологической схемы ведения работ на карьере, а также типом используемой выемочно-погрузочной техники и способа транспортирования горной массы.

Проектируя ширину предохранительных берм безопасности, необходимо принимать во внимание тип и технические характеристики применяемого вспомогательного оборудования [6,87], которое будет работать на зачистке берм от кусков осыпавшейся горной породы. Анализ практики большинства карьеров показывает, что для современного вспомогательного оборудования берму безопасности можно ограничить шириной 10-15 метров.

Если говорить о практике применения автомобильного транспорта, то величина транспортной бермы находится в диапазоне 15-25 метров.

В работе [42] был выполнен геометрический анализ конструкций временно нерабочих бортов, в результате которого выявлены соотношения совмещенных уступов и угла наклона временно нерабочего борта (таблица 1.2) [42].

Таблица 1.2. – Соотношение совмещенных уступов и угла наклона временно нерабочего борта

Способ разделения уступов на временно нерабочем борту	Совмещенные уступы, шт.	Угол наклона временно нерабочего борта, град.
Разделение транспортной бермой (15-25 м.)	1	19-27
	2	30-40
	3	38-46
	4	42-50
Разделение бермой безопасности (10-15 м.)	1	27-34
	2	40-46
	3	46-51
	4	50-54

Консервируемые объемы вскрыши напрямую зависят от угла откоса временно нерабочего борта и его высоты. Оптимальная принимаемая высота ВНБ зависит от скорости и времени его разноса. Высота ВНБ находится с учетом принимаемого горнотранспортного оборудования и технологии ведения горных работ на месторождении, в противном случае, возможна ситуация, когда интенсивность разноса ВНБ будет недостаточной, что приведет к «сползанию» ВНБ в добычную зону карьера.

Угол, при котором уступ находится в устойчивом положении, зависит от физико-механических свойств породы на этом борту, также немаловажную роль играет климат и температурные диапазоны в данной местности [47].

При необходимости увеличить угол наклона ВНБ необходимо варьировать ширину оставляемых транспортных и/или предохранительных берм. При этом важно понимать, что узкие площадки отрицательно влияют на сложность и время работ по последующей расконсервации.

В таблице 1.3 представлена взаимосвязь основных конструктивных параметров временно нерабочего борта [42].

Таблица 1.3. – Взаимосвязь основных конструктивных параметров ВНБ

Параметры ВНБ	
Высота	Угол
Вертикальная скорость углубки при расконсервации	Количество совмещаемых уступов
Время расконсервации ВНБ	Устойчивый угол откоса уступа
	Ширина бермы безопасности

При определении угла откоса ВНБ на месторождениях, обрабатываемых экскаваторами, следует руководствоваться темпами углубки, объемами консервируемой породы, а также ценой на полезное ископаемое [29]. При изменении цены на руду можно варьировать значение угла ВНБ, меняя темп углубки.

### **1.3 Способы и технологические схемы возобновления работ на временно нерабочем борту**

Горнотехнические условия, в которых осуществляется подготовка временно нерабочего борта к эксплуатации, значительно отличаются от условий при отработке карьера без ВНБ. Это приводит к усложнению технологических процессов, изменению методов организации горных работ и требует выбора оборудования, которое может эффективно функционировать на ограниченных пространствах. При работах по расконсервации ВНБ общей особенностью является трудность в работе горного оборудования, поскольку из-за ограниченного места его размещения могут затрудняться буровзрывные работы, расти потери и степень разубоживания полезного ископаемого.

В работе [34] авторы рассматривали способы проведения расконсервации на временно нерабочих бортах с различными вариантами конструкций и углов откосов рабочего борта. Для оценки эффективности методов расконсервации использовался коэффициент сброса горной массы в выработанное пространство после проведения взрывных работ на уступе. Коэффициент сброса отражает объёмы переваленной горной массы к общему взрываемому объёму горной массы [29]. Проанализировав полученные в исследовании результаты, выделяются четыре основных способа расконсервации временно нерабочего борта (таблица 1.4)

Таблица 1.4. – Основные способы и скорость расконсервации ВНБ

Название способа	Коэффициент сброса, $K_{сб}$	Скорость расконсервации, м/год
Поуступный	0,1 – 0,2	20 – 60
Высокими уступами	0,2 – 0,4	80 и более
С использованием насыпной призмы	0,4 – 0,6	45 – 120
Крутыми слоями	0,6 – 0,9	180 – 260

Классический способ расконсервации предполагает расконсервацию ВНБ сверху вниз слоями. Такой способ применяется на большинстве карьеров (рисунок 1.8, схема а).

Применение высоких уступов (рисунок 1.8, схема б, г) было предложено и обосновано в работах М.Г. Новожилова [84] и Б.Н. Кутузова [45]. Особенности работы таких схем является то, что доставка взорванной горной массы производится в основание ВНБ, такие схемы успешно применяются на нагорных месторождениях.

В своем исследовании Т.В. Донченко рассматривает вопрос расконсервации ВНБ с применением насыпной призмы [38] (рисунок 1.8, схема в). Автор доказал, что насыпная призма, сооруженная в основании ВНБ, позволяет сократить объем горных работ на 50% в сравнение с классическим способом.

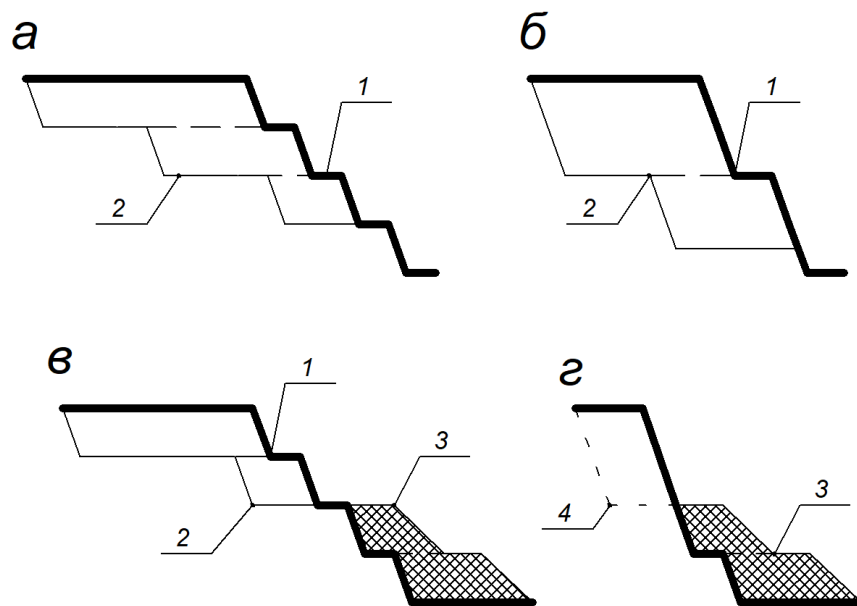


Рисунок 1.8 – Технологические схемы расконсервации временно нерабочего борта

На рисунке 1.8 представлены способы расконсервации ВНБ: а – поуступный; б – высокими уступами; в – с насыпной призмой; г – крутыми слоями. Цифрами обозначены: 1 – контур ВНБ; 2 – контур рабочего борта; 3 – взорванная горная масса; 4 – контур взрываемого слоя.

Размер удельных затрат на вскрышные работы оценивается, в том числе, и по величине коэффициента сброса. Так, при коэффициенте сброса, равном 0,9, затраты на выемочно-погрузочные работы увеличиваются на 90%.

Совмещение уступов на временно нерабочем борту карьера и варьирование ширины оставляемых на ВНБ транспортных и предохранительных берм даёт возможность сформировать рабочие площадки такой ширины, которая минимизирует или полностью исключает перевалку взорванной горной массы в выработанное пространство.

В таблице 1.5 представлены конструкции и варианты расконсервации временно нерабочего борта для обеспечения минимальной величины коэффициента сброса [34].

Таблица 1.5. – Сочетания конструкций и способов расконсервации ВНБ, обеспечивающие минимальный уровень сброса горной массы

Вид оставляемых площадок	Угол наклона ВНБ	Количество совмещаемых уступов при способах расконсервации			
		Поуступный	С насыпной призмой	Высокими уступами	Крутыми слоями
Транспортная берма	19 – 27	1			
	27 – 40	2	2	2	
	38 – 46		2 – 3	3	
	42 – 50				3 – 4
Предохранительная берма	27 – 37	1 – 2	2		
	37 – 46		3	2 – 3	
	46 – 51			3 – 4	3 – 4
	50 и более				4 и более

Есть много способов погашения ВНБ, в работе [54] представлена классификация технологических схем по разному временно нерабочего борта карьеров. На рисунке 1.9 изображены схемы разноса, при которых имеются ограничения ширины развала взорванной горной массы.



На схеме *а* изображен вариант, когда на временно нерабочем борту предлагается заранее сформировать подпорную стенку из взорванной горной массы. Она формируется во время строительства ВНБ или путем взрыва первого ряда скважин при начале работ по расконсервации.

Схема *б* предполагает использование специальных схем коммутации взрывных скважин таких, как диагональное взрывание, фланговое, а также использование врубовых схем коммутации.

При большой ширине разносимого борта целесообразно использовать схему с опережающей траншеей (схема *в*). Проходка траншеи производится с верхнего уступа, с оставлением целика. Таким образом, вся энергия взрыва приходится в сторону массива горной породы, что позволяет минимизировать разлет горной массы. Ширина целика зависит от параметров буровых станков, а обработка взорванной горной массы ведется поперечными заходками экскаваторами.

Для уменьшения разлета горной массы существует вариант с отсыпанием предохранительного вала. Высотой такой вал достигает одного метра и имеет ширину порядка двух-трех метров. Формирование предохранительного вала осуществляется в момент строительства ВНБ (схема *г*).

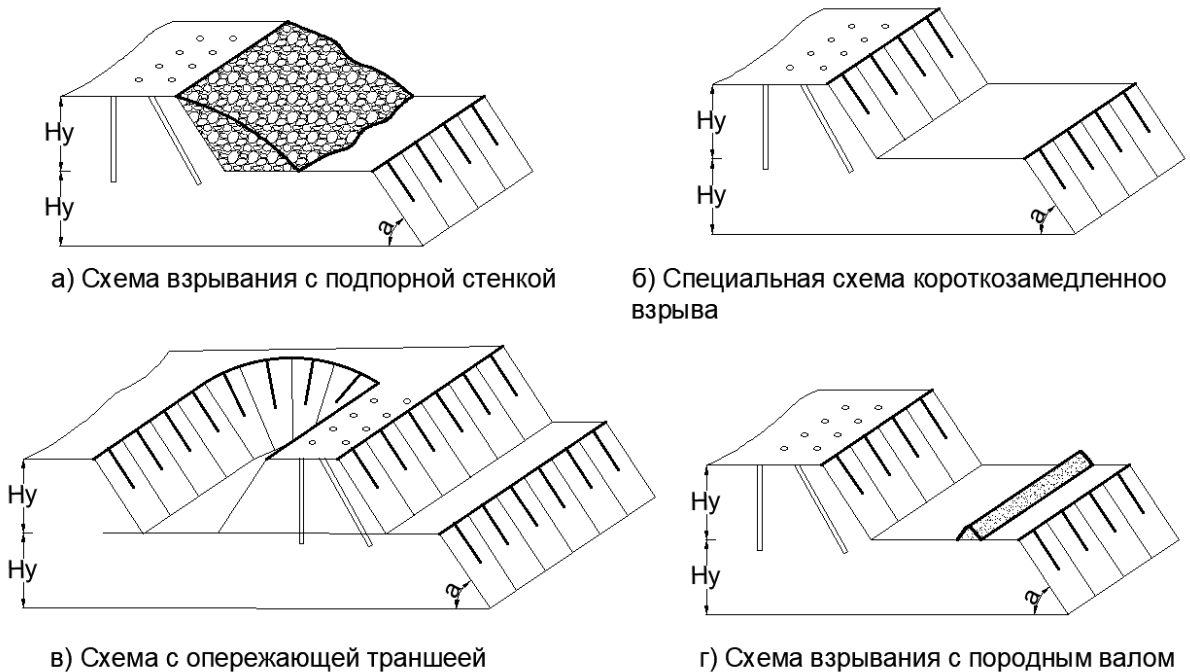


Рисунок 1.9 – Технологические схемы разноса ВНБ с ограничениями развала взорванной массы

Для тех технологических схем, когда на нижних горизонтах временно нерабочего борта имеется достаточно места для размещения развала взорванной горной массы Н.Н. Мельников [54] предлагает следующую классификацию (рисунок 1.10):

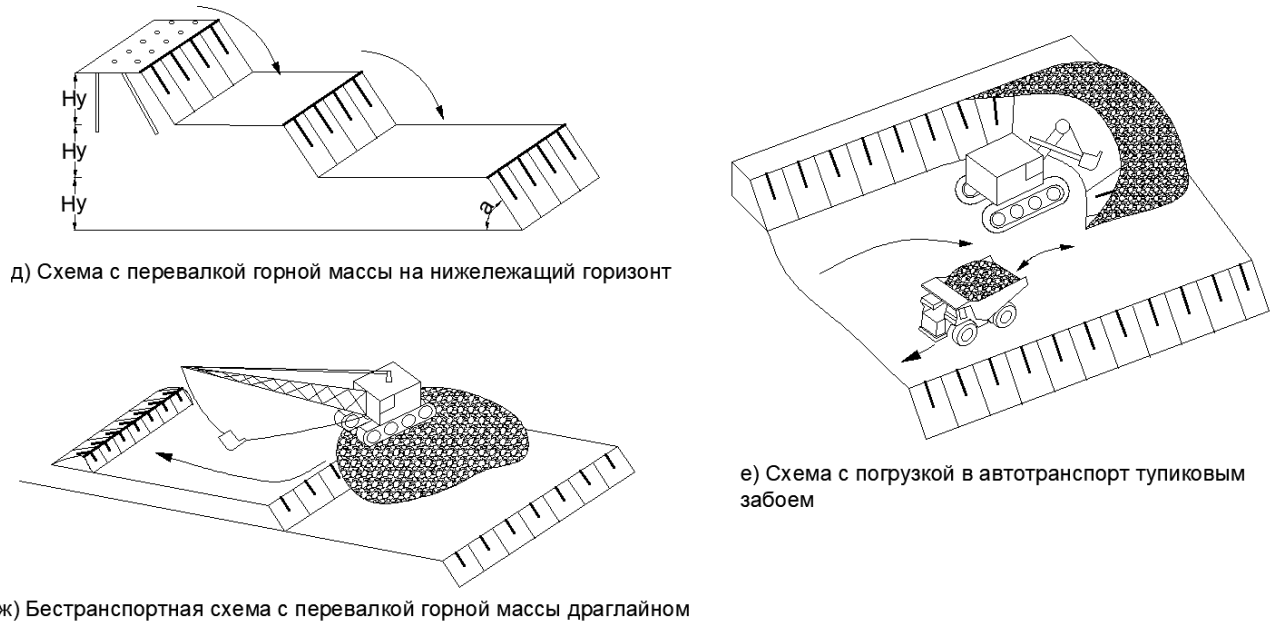


Рисунок 1.10 – Технологические схемы разноса ВНБ без ограничений ширины развала взорванной массы

Схема д, которая подразумевает перемещение горной массы на более низкие горизонты, наиболее эффективна при использовании железнодорожного способа транспортировки породы. После взрыва, экскаватором производят перевалку породы на нижележащий горизонт, где впоследствии её грузят в думпкары.

Схема е характеризуется погрузкой в автотранспорт тупиковым забоем. Сложность реализации возникает только во время первой заходки, когда ширина рабочей площадки уменьшенного размера. Последующая работа ведется заходкой нормальной ширины. Данная схема по интенсивности разноса ВНБ уступает схеме с перевалкой горной массы (схема д).

Также существуют бестранспортные схемы, так, например, схема с перевалкой горной массы (схема ж) имеет ряд преимуществ: возможность разработки уступов большой высоты, экономичность переэкскавации. Чаще всего применяется с использованием драглайна.

Кроме описанных схем, существуют методы погашения ВНБ, которые предполагают развитие работ в одном направлении, в двух направлениях от краёв карьерного поля к его середине или в двух направлениях от середины к краям.

Несмотря на то, что при разносе ВНБ наибольшая скорость погашения достигается при применении технологических схем со взрывом на нижний горизонт (схема д), на практике расконсервация временно нерабочего борта осложняется уменьшенной площадью рабочего пространства и чаще применяются схемы с работой на площадках минимальной ширины.

Анализируя практику отработки крупных карьеров, в подавляющем большинстве случаев применяется экскаваторно-автомобильный комплекс оборудования большой мощности. Принимая оборудование с большей мощностью, существенно снижаются эксплуатационные издержки, однако для использования габаритного оборудования необходимы широкие автомобильные дороги и рабочие площадки, что отрицательно сказывается на эффективности отработки ВНБ. При разносе временно нерабочего борта используют различные виды и комбинации оборудования, наиболее эффективными остаются схемы, позволяющие вести работы с высокой скоростью погашения нерабочего борта.

Наиболее используемыми остаются схемы с экскаваторно-автомобильным транспортом, реже применяется железнодорожный транспорт. Отдельно стоит отметить схемы механизации с применением гидравлических экскаваторов, габариты которых позволяют вести работы в сложных горнотехнических условиях.

#### **1.4 Оценка целесообразности формирования ВНБ при реализации открытой геотехнологии в условиях современного горнодобывающего предприятия**

В условиях нестабильности цен на минеральное сырье на карьерах с постоянной производственной мощностью имеется проблема растущих эксплуатационных расходов [17,56]. Это происходит, когда из-за уменьшения спроса на концентрат предприятие вынуждено снижать объёмы поставок сырья на перерабатывающий завод и, соответственно, накапливать руду в складах.

Существует и иная ситуация, когда спрос на сырье растет, а возможность карьера нарастить темпы производительности отсутствует.

Для решения этих проблем на карьерах успешно применяются этапные схемы отработки с формированием временно нерабочих бортов. Использование этапов позволяет регулировать параметры системы разработки путем изменения конструкции, объемов консервации и темпов расконсервации ВНБ [23,91]. Такие методы отработки позволяют перераспределять производственные мощности и регулировать календарный график под текущие потребности производства. Это становится реализуемым благодаря контролю за темпами углубки и скоростями подвигания фронта горных работ [18].

Использование на карьерах временно нерабочих бортов помогает оптимизировать расположение и концентрацию горнотранспортного оборудования, позволяя при необходимости задействовать дополнительное оборудование и повысить результативность существующих технологических процессов.

Одним из требований, предъявляемым к современному горнодобывающему предприятию, является необходимость учитывать динамически изменяющиеся рынки минерального сырья при проектировании карьеров.

Профессор А.И. Косолапов приводит тезис: «Интенсификация добычных работ при поэтапной отработке возможна тем больше и продолжительнее, чем меньше угол откоса рабочего борта и больше угол откоса нерабочего борта» [44].

Чтобы оценить возможность повышения производительности карьера, нужно изучить несколько ключевых аспектов: размеры открытых рудных площадей, объём доступных для извлечения запасов, а также наличие и состояние транспортной инфраструктуры для оценки возможности использования дополнительной техники.

Оценка рабочей зоны осуществляется через определение скорости углубления и скорости продвижения фронта работ. Фронт горных работ должен обладать определённой длиной, которая позволит обеспечить производительность

карьера в 1 млн м<sup>3</sup> в год при постоянной высоте уступов и скорости продвижения [41].

В работе [108] обоснована потребность в создании инновационных методов формирования и повторного ввода в эксплуатацию временно нерабочих бортов, что позволит улучшить процесс добычи, увеличить объёмы консервируемых вскрышных пород, обеспечить транспортный доступ для разработки новых горизонтов и гарантировать безопасность проведения работ.

Формирование внеплановых целиков на карьере или незапланированное опускание временно нерабочего борта в добычную зону оказывает отрицательное влияние на работу горного предприятия. При разработке обоснованных схем наращивания производственной мощности имеются ряд трудностей, где главной проблемой является внушительная вариантность путей развития рабочих зон и сильное влияние геологических и горнотехнических факторов месторождения.

При отработке месторождений с применением временно нерабочего борта изменение производительности карьера по руде возможно путем регулирования параметров системы разработки. В зависимости от используемого парка горнотранспортного оборудования необходимо учитывать такие параметры и показатели, как расположение и размеры временно нерабочих бортов, высота уступов, ширина предохранительных и/или транспортных берм, а также количество и ширина рабочих площадок. Поскольку временно нерабочий борт характеризуется узкими площадками и часто наличием сдвоенных или даже строенных уступов, параметры горнотранспортного оборудования должны обеспечить нормальные условия его работы в зоне формирования и разноса ВНБ.

Стесненные условия работы на ВНБ существенно осложняют работу оборудования, однако, применение современных комплексов горнотранспортного оборудования уменьшенных размеров и использование гидравлических экскаваторов дает возможность оптимизировать параметры существующих технологических схем и расширить область их применения.

От выбора оборудования и технологических схем работы будут зависеть объемы консервации пустой породы, скорость углубки и разноса ВНБ, а также экономическая эффективность отработки карьера в целом.

### **1.5 Выводы по первой главе**

1. Проведен анализ методологического и практического опыта формирования и расконсервации временно нерабочих бортов на карьере, доказана эффективность применения технологии с целью регулирования коэффициента вскрыши, интенсификации производительности, а также в условиях реконструкции горных предприятий.

2. Проанализированы причины и способы формирования временно нерабочего борта в карьерном поле, выявлены взаимосвязи основных конструктивных параметров ВНБ и их влияние на угол наклона. Так, при увеличении угла наклона ВНБ на  $1^\circ$  происходит рост объёма консервируемых вскрышных пород на 5%.

3. Выявлено, что нарушение темпов расконсервации ВНБ приводит к вскрышному отставанию, сокращению подготовленных запасов, снижению производительности, а в отдельных случаях к полной остановке добычных работ.

4. Доказана необходимость оптимизации параметров технологических схем временно нерабочих бортов карьеров с учётом тенденции к увеличению производительности и темпов углубки карьеров, а также применения современного горнотранспортного оборудования на расконсервации.

## **ГЛАВА 2 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧЕГО БОРТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ОТКРЫТОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

### **2.1 Анализ значимых факторов при определении конструкции временно нерабочего борта карьера**

Существует множество вариантов разделения карьера на этапы отработки путем создания временно нерабочего борта. В первую очередь, от конструкции ВНБ будет зависеть объем пород, подлежащих консервации, от чего напрямую зависит экономическая эффективность проекта. Перераспределение объемов вскрышных пород позволяет управлять режимом горных работ на карьере.

Особенности управления режимом горных работ при условиях применения ВНБ рассмотрены в научных трудах В.В. Ржевского [75] и С.Б. Рубинштейна [78]. Опираясь на эти труды в ряде исследований [49, 99, 103], было определено: между основными параметрами и показателями временно нерабочего борта, например, такими, как угол откоса ВНБ, высота, скорость расконсервации, а также всеми факторами, влияющими на неё, существует прямая взаимосвязь. Из-за нарушений этих закономерностей формирования ВНБ возникает ситуация невозможности своевременной расконсервации и происходит образование целиков в добычной зоне, сокращается вскрытая рудная площадь и, в результате, снижается производительность карьера по полезному ископаемому.

Нерациональная конструкция временно нерабочего борта является главной причиной сокращения области применения ВНБ, снижения его экономической эффективности, а также усложнения процесса вскрытия новых горизонтов и обеспечения безопасной работы.

На рисунке 2.1 представлена схема временно нерабочего борта на глубоком карьере, разрабатывающего крутопадающее месторождение.

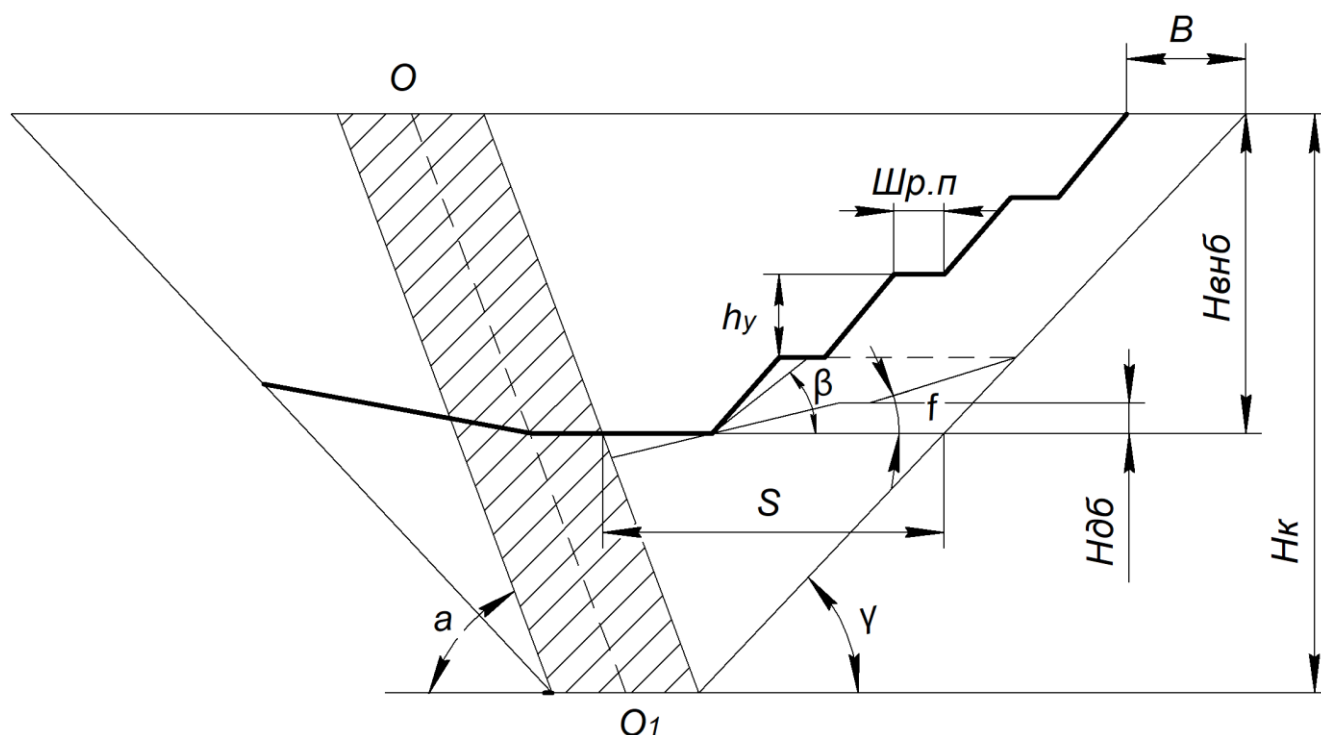


Рисунок 2.1 – Реализация технологии формирования временно нерабочего борта на примере разработки рудного крутопадающего месторождения

В статье профессора В.Л. Яковлева, Г.Г. Саканцева и др. [108] представлена методика для расчета объемов законсервированной породы во временно нерабочем борту. Объем определяется как сумма объемов отдельных уступов ВНБ. Конструкция временно нерабочего борта может зависеть от множества горно-геологических и горнотехнических факторов, например, таких, как форма, глубина залегания и размер рудной залежи.

Главные геометрические параметры ВНБ – это высота, ширина, длина, а также угол откоса. Взаимосвязаны эти величины через длину  $S$  (2.1, 2.2)

Со стороны висячего бока залежи:

$$S = H_{дб}(ctga + ctgf) + MШ_{п} + B, \quad (2.1)$$

где  $B$  – ширина верхней части целика, м;

$M$  – количество уступов на ВНБ, шт.;

$H_{дб}$  – высота добычной зоны, м;

$a$  – угол падения рудного тела, град.;

$f$  – угол рабочего борта карьера, град.;

$Ш_{п}$  – ширина оставляемых площадок на ВНБ, м.



Со стороны лежащего бока залежи (2.2):

$$S = (H_k - Mh_y)(ctga + ctg\gamma), \quad (2.2)$$

где  $h_y$  – высота одного уступа на ВНБ, м;

$H_k$  – глубина карьера в конечных контурах, м;

При проектировании временно нерабочего борта необходимо обеспечить его своевременное погашение с наращиванием темпов углубки при расконсервации.

Высота добычной зоны (2.3) [108]:

$$H_{дб} = \frac{Mh_y v_d}{v_p} \rightarrow M_1 = 1 \rightarrow H_{дб} = \frac{h_y v_d}{v_p}, \quad (2.3)$$

где  $v_p$  – скорость расконсервации ВНБ, м/год;

$v_d$  – скорость понижения добычных работ, м/год;

$\gamma$  – угол борта карьера в конечном положении, град.;

$h_y$  – высота одного уступа на ВНБ, м.

Для нахождения величины верхней части оставляемого целика (2.4), необходимо приравнять формулы 2.1 и 2.2, выразить искомую величину и расписать высоту добычной зоны (2.4) [108]:

$$B = (H_k - Mh_y)(ctga + ctg\gamma) - MШ_{п} - \frac{h_y v_d (ctga + ctgf)}{v_p} \quad (2.4)$$

Вертикальная скорость расконсервации временно нерабочего борта зависит от применяемого выемочно-погрузочного оборудования (2.5) [58]:

$$v_p = \frac{QN}{L_{фр} h_y (ctgf - ctg\beta)}, \quad (2.5)$$

где  $L_{фр}$  – длина фронта горных работ на ВНБ, м;

$Q$  – производительность экскаватора, м<sup>3</sup>/год;

$N$  – количество экскаваторов работающих одновременно на уступе, шт.;

$\beta$  – угол временно нерабочего борта, град.

В общем виде объем консервируемых пород во временно нерабочем борте (2.6):

$$V = \sum_{1}^s V_s, \quad (2.6)$$

где  $s$  – количество уступов, оставляемых на временно нерабочем борту, шт.

Объем пород консервируемых в одном уступе ВНБ (2.7):

$$V = Bh_y L_{\text{фр}} + h_y \text{Ш}_n (m - 1) L_{\text{фр}}, \quad (2.7)$$

где  $m$  – номер уступа ВНБ;

$V$  – объем пород в консервируемом уступе, м<sup>3</sup>.

Для оценки степени влияния параметров временно нерабочего борта и скорости его разноса на консервируемые объемы пустой породы необходимо провести анализ чувствительности. Анализ чувствительности показывает зависимость эффективности применения ВНБ от конкретных показателей, а степень этой зависимости определяется по коэффициенту эластичности. Главной задачей является определение важнейших факторов и критических переменных, которые оказывают существенное влияние на выбор конструкции ВНБ и эффективность проекта в целом.

Относительный анализ чувствительности характеризуется определением относительного влияния исходных значений на конечный показатель. В ходе анализа определяется такая величина, как коэффициент эластичности, она показывает, на сколько изменяется критериальный показатель при единичном изменении переменной. По результатам анализа чувствительности производится ранжирование переменных по величине коэффициента эластичности: чем выше значение этого показателя, тем выше уровень зависимости и тем сильнее повышается проектный риск [92,93].

Используя формулу вертикальной скорости расконсервации временно нерабочего борта (2.5) и формулу нахождения величины верхней части ВНБ (2.4), необходимо преобразовать формулу объема пород консервируемых в одном уступе ВНБ (2.7). Таким образом, получим следующую зависимость (2.8):

$$V = (H_k - Mh_y)(ctga + ctg\gamma) - \text{МШ}_n - \quad (2.8)$$

$$-\frac{h_y v_d (ctga + ctgf) L_{фр} h_y (ctgf - ctg\beta)}{QN} h_y L_{фр} + h_y Ш_n (m - 1) L_{фр}$$

Для выполнения анализа чувствительности примем в качестве констант следующие параметры: количество уступов на ВНБ  $M = 5$  шт.; глубина карьера на конец отработки  $H_k = 300$  м; угол падения рудного тела  $a = 70^\circ$ ; угол наклона борта карьера в конечном положении  $\gamma = 45^\circ$ .

Все остальные необходимые для расчетов параметры и их значения представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. – Исходные данные для анализа чувствительности

№	Параметр	Диапазон изменения		Среднее значение	Приращение
1	$f$ – угол рабочего борта карьера, град	12	18	15	1
2	$h_y$ – высота одного уступа на ВНБ, м	10	28	19	4
3	$v_d$ – скорость углубки добычных работ, м/год	10	40	25	5
4	$L_{фр}$ – длина фронта горных работ на ВНБ, м	1100	2000	1550	150
5	$Q$ – производительность экскаватора, м <sup>3</sup> /год	300000	2100000	1200000	300000
6	$N$ – количество экскаваторов работающих одновременно на уступе, шт.	1	7	4	1
7	$Ш_n$ – ширина бермы на ВНБ, м	20	50	35	5

Для того, чтобы оценить степень влияния параметров горных работ на объем консервации породы в ВНБ рассчитывается коэффициент эластичности (2.9) [92,93]:

$$\varepsilon = \frac{100}{n-1} \sum_1^{n-1} \frac{\Delta y_i x_i}{\Delta x_i y_i} \quad (2.9)$$

где  $n$  – число точек;

$y_i$  – значение функции в  $i$  – й точке;

$\Delta y_i$  – приращение функции в  $i$  – й точке;

$x_i$  – значение аргумента в  $i$  – й точке.

В случае, когда значение коэффициента эластичности положительное, то при увеличении значения исследуемого фактора увеличивается и конечная искомая величина. Отрицательный коэффициент эластичности показывает, что при увеличении значения исследуемого фактора искомая величина уменьшается.

Анализируя все полученные значения коэффициентов эластичности, все

параметры разделены по степени их влияния на три группы. Параметры, оказывающие сильное влияние – группа значений высокой значимости, оказывающие среднее влияние – группа средней значимости и параметры с наименьшим влиянием можно отнести к группе низкой значимости.

В процентном выражении разделение по группам степени влияния, в зависимости от коэффициента эластичности, осуществляется следующим образом: параметры с низким влиянием  $\varepsilon < 25\%$ ; средним влиянием  $25\% < \varepsilon < 60\%$ ; сильным влиянием  $\varepsilon > 60\%$ .

Из оценки полученных результатов следует, что все исследуемые параметры оказывают влияние на конечный результат, а коэффициент эластичности показывает лишь степень этого влияния.

Результаты расчетов представлены в сводной таблице 2.2.

Все рассмотренные параметры временно нерабочего борта были ранжированы по степени их влияния на объемы консервируемой горной породы. Выделено 2 группы данных по степени значимости исследуемых параметров:

В группу с высокой значимостью входят такие параметры, как: ширина оставляемых площадок на ВНБ, длина временно нерабочего борта, угол рабочего борта карьера.

Группа параметров со средней значимостью: количество экскаваторов, работающих одновременно на уступе, высота уступа временно нерабочего борта, производительность экскаватора, скорость углубки добычных работ.

На рисунках 2.2 и 2.3 представлены графики зависимости горнотехнических параметров временно нерабочего борта на относительное изменение величины консервируемых объемов пород.

Таблица 2.2. – Степень влияния параметров на объем консервации породы в ВНБ

Параметр	Ед. измерения/ диапазон значений	1	2	3	4	5	6	7	ε, %
$f$	град	12	13	14	15	16	17	18	71,6
$V$	млн м <sup>3</sup>	10,8	11,8	12,7	13,3	13,8	14,2	14,6	–
$h_y$	м	11	14	17	20	23	26	29	38,9
$V$	млн м <sup>3</sup>	8,6	10,6	12,1	13,3	14,0	14,1	13,7	–
$v_d$	м/год	15	20	25	30	35	40	45	-29,6
$V$	млн м <sup>3</sup>	15,0	14,5	13,9	13,3	12,7	12,2	11,6	–
$L_{фр}$	м	700	800	900	1000	1100	1200	1300	74,7
$V$	млн м <sup>3</sup>	10,0	11,2	12,3	13,3	14,3	15,1	16,0	–
$Q$	м <sup>3</sup> /год	300000	500000	700000	900000	11000000	12000000	13000000	34,5
$V$	млн м <sup>3</sup>	6,4	10,5	12,3	13,3	16,5	16,5	16,5	–
$N$	шт.	1	2	3	4	5	6	7	48,7
$V$	млн м <sup>3</sup>	2,9	9,8	12,2	13,3	14,0	14,5	14,8	–
$\Pi_{п}$	м	20	25	30	35	40	45	50	-98,1
$V$	млн м <sup>3</sup>	17,8	16,3	14,8	13,3	11,8	10,3	8,8	–

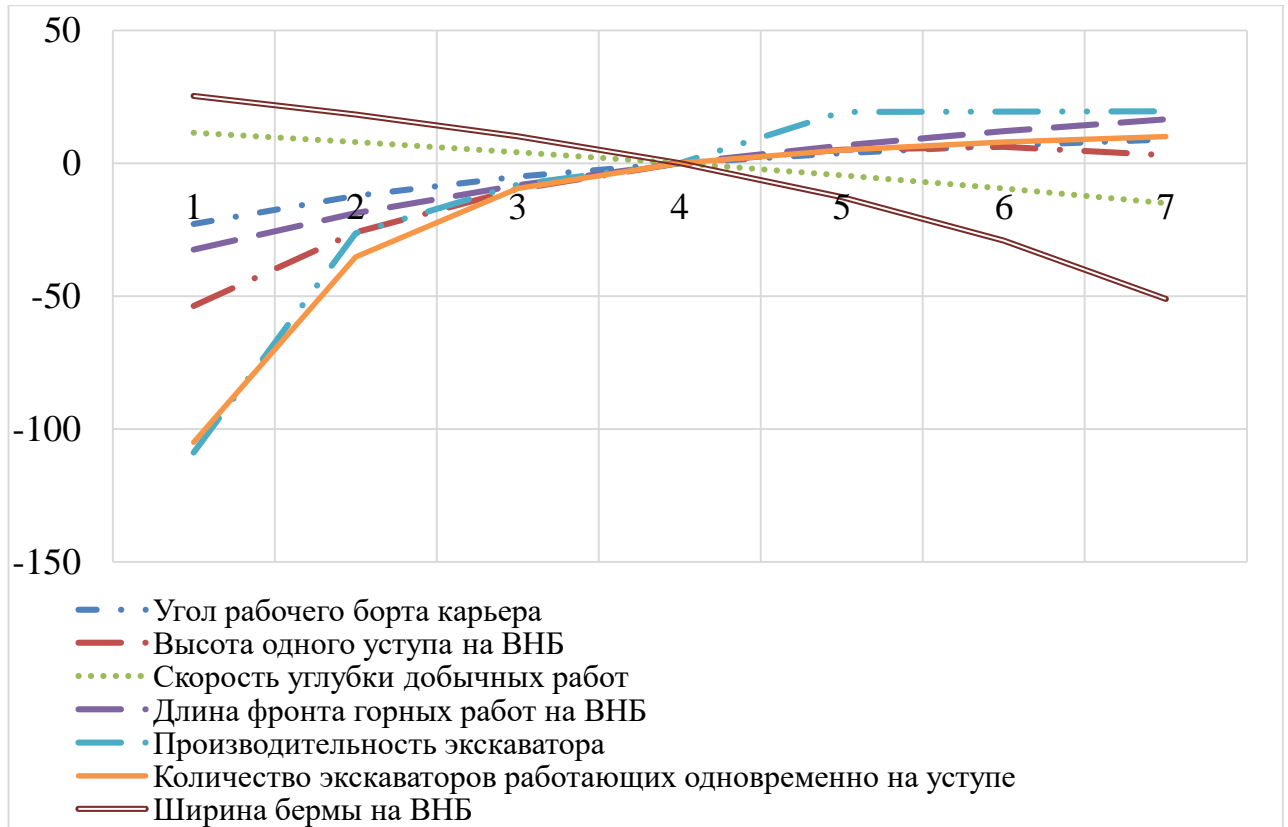


Рисунок 2.2 – Влияние горнотехнических параметров карьера на относительное изменение величины консервируемых объемов пород во временно нерабочем борту

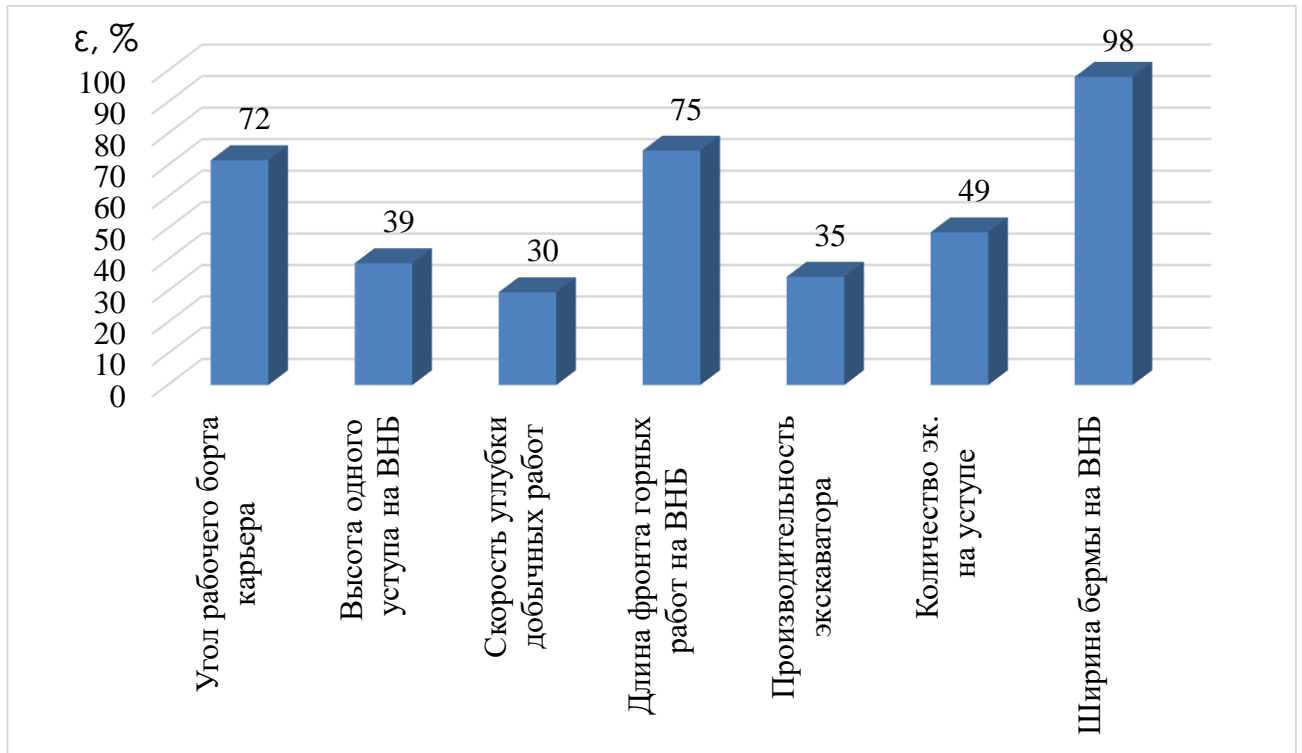


Рисунок 2.3 – Результаты определения коэффициента эластичности для различных горнотехнических параметров временно нерабочего борта

По результатам выполненного анализа рассмотренных параметров временно нерабочего борта на консервируемые объемы горных пород получены следующие выводы:

1. На рациональную конструкцию ВНБ оказывают существенное влияние параметры, ограничивающие возможную скорость расконсервации временно нерабочего борта.

2. При проектировании временно нерабочего борта необходимо обеспечить его своевременное погашение с наращиванием темпов углубки при его расконсервации.

3. Принятые средние значения исходных данных, в зависимости от коэффициента эластичности, параметры, оказывающие влияние на величину консервируемых объемов пород во временно нерабочем борту, располагаются в следующем порядке: ширина оставляемых площадок на ВНБ, длина временно нерабочего борта, угол рабочего борта карьера, количество экскаваторов, работающих одновременно на уступе, высота уступа временно нерабочего борта, производительность экскаватора, скорость углубки добычных работ.

Таким образом, при выборе конструкции временно нерабочего борта необходимо провести анализ как параметров ВНБ, так и оценить производительность и количество вовлекаемого в расконсервацию горнотранспортного оборудования. Такой анализ позволит обосновать принимаемые исходные данные и повысить надёжность и достоверность принимаемых технологических решений.

## **2.2 Анализ экскаваторно-автомобильных комплексов оборудования, используемого на временно нерабочем борту**

Работы по формированию и расконсервации временно нерабочего борта имеют определенную специфику. Из-за сокращения ширины рабочих площадок, увеличения высоты уступов, а также ограниченных условий ведения взрывных работ на ВНБ может применяться специализированная горная техника. Существует достаточно большое многообразие способов формирования и разноса временно

нерабочего борта с точки зрения применяемого выемочно-погрузочного оборудования. На практике на ВНБ применяются как специализированные комплексы оборудования, так и техника, используемая в карьере вне зоны ВНБ.

На карьерах, где применяются методы консервации породы в целиках, могут применяться различные виды горнотранспортного оборудования. Возможно как привлечение техники, работающей на основных добычных работах, так и отработка отдельными комплексами оборудования, функционирующими только в условиях работы на ВНБ. В зависимости от условий карьера, оборудование должно подбираться исходя из условий эксплуатации. Ключевым фактором является эффективность и безопасность его использования.

Анализируя виды применяемого выемочно-погрузочного оборудования, следующие его типы: механические лопаты, гидравлические экскаваторы, роторные экскаваторы, драглайны, а также колесные погрузчики. При подготовке горных пород к выемке, в зависимости от типа вмещающих пород, могут применяться как безвзрывные технологии, так и буровзрывной способ подготовки горных пород к выемке.

Виды применяемого оборудования на временно нерабочем борту карьера представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. – Выемочно-погрузочное оборудование, используемое на ВНБ

Выемочно-погрузочное оборудование	Транспорт
Механические лопаты	Автомобильный; железнодорожный; конвейерный
Экскаваторы гидравлические	Автомобильный; железнодорожный; конвейерный
Роторные экскаваторы	Железнодорожный; конвейерный
Драглайны	Автомобильный; железнодорожный; конвейерный
Колесные погрузчики	Автомобильный; железнодорожный; конвейерный
Скреперный транспорт	

На тех карьерах, где отрабатываются крутопадающие рудные месторождения чаще всего используются схемы с применением буровзрывных работ. В связи с ограниченными размерами рабочего пространства наиболее эффективными являются схемы с применением механических карьерных лопат (рисунок 2.4), а



также гидравлических экскаваторов с прямой и обратной лопатой (рисунки 2.5).



Рисунок 2.4 – Карьерный экскаватор CAT 7495 HD на гусеничном ходу, оборудованный прямой механической лопатой



Рисунок 2.5 – Гидравлические экскаваторы CAT 385C FS и CAT 6015B на гусеничном ходу, оборудованные прямой и обратной лопатой

Для того, чтобы выбрать технологические схемы с механическим или гидравлическим оборудованием для формирования и расконсервации ВНБ необходим комплексный сравнительный анализ основных геометрических, силовых параметров машин, а также должно быть проведено экономическое обоснование с учетом условий эксплуатации. Необходимо понимать, что на временно нерабочем борту достаточно эффективно показывают себя схемы с применением гидравлических экскаваторов типа обратная лопата, аналогов которых у экскаваторов с механическими лопатами нет. Поэтому любое сравнение

возможно только с экскаваторами типа прямая лопата.

Ниже представлено общее сравнение механических карьерных экскаваторов с гидравлическими по группам таких факторов, как геологические, технические, технологические, эргономические, экологические и экономические факторы.

По геологическим факторам:

– *Крепость горных пород* – влияет на способ подготовки горной массы к выемке и в последствии на возможность применения того или иного типа выемочно-погрузочной машины. На глубоких карьерах с ВНБ обычно применяется буровзрывной способ подготовки.

Карьерные экскаваторы, оборудованные механической лопатой, лучше подходят для забоев с плохо взорванной горной массой в сравнении с гидравлическими экскаваторами, поскольку мехлопаты имеют большую массу и устойчивость, обладают более высоким усилием копания. Канатные карьерные экскаваторы больше подходят для массовой погрузки с высокой производительностью, но в условиях работы на ВНБ габаритное высокопроизводительное оборудование вынуждено работать в стесненных условиях со сниженной эффективностью, что необходимо учитывать при выборе типа экскаватора.

– *Абразивность породы* – способность породы изнашивать рабочие части оборудования. Экскаваторы с мехлопатами – это более металлоемкое оборудование, чем гидравлические экскаваторы и за счет более тяжелых и габаритных ковшей имеет лучшую защиту от износа. Однако современные гидравлические экскаваторы имеют также достаточно высокий ресурс работы навесного оборудования, иногда сопоставимый с ресурсом канатных экскаваторов.

По климатическим факторам:

– *Климатические условия на месторождении*. Главным климатическим фактором на карьерах является температура воздуха, она влияет на вязкость рабочих жидкостей. Экстремально низкие или высокие температуры особенно сильно сказываются на работе гидравлического масла и дизельного топлива, которое используется в гидравлических экскаваторах, однако существуют

специальные модификации, предназначенные для арктических или тропических условий эксплуатации [67]. Экскаваторы с механическим приводом ковша, как правило, оборудованы электродвигателем, которые эффективно работают в достаточно высоком температурном диапазоне.

По **техническим и технологическим** факторам:

– *Высота черпания* экскаватора. Одним из определяющих факторов при выборе типа выемочно-погрузочной машины является высота уступа. Для механических лопат рабочая высота уступа ограничивается высотой установки головного блока стрелы. Такие экскаваторы могут работать в высоких забоях, превышающих высоту черпания, в отличие от гидравлических экскаваторов, рекомендованная высота черпания которых ниже высоты черпания по паспорту.

Из-за меньших линейных размеров гидравлические экскаваторы необходимо располагать ближе к забою, что сокращает ширину рабочей площадки, но, в свою очередь, обеспечивает относительно безопасные условия эксплуатации с точки зрения возможности обрушения породы на машину.

– *Радиус черпания*. От радиуса черпания зависит ширина заходки экскаватора, что имеет огромное значение при формировании ВНБ. Гидравлические экскаваторы имеют существенное преимущество по сравнению с мехлопатами при равных объемах ковша. Это происходит за счет возможности горизонтального перемещения ковша на дистанцию до 5 метров у гидравлических экскаваторов и практически полное отсутствие такой возможности у мехлопат.

– *Геометрические параметры забоя*. Геометрические параметры забоя напрямую зависят от размеров навесного оборудования и радиуса его действия. Гидравлические экскаваторы более компактные и подвижны, что позволяет эффективнее вести отработку ниже уровня стояния, вести селективную выемку, а также формировать заданный угол откоса уступа.

Канатные экскаваторы имеют большие габариты и располагаются на безопасном расстоянии от забоя. Для такого вида экскаваторов требуется больше пространства для зоны погрузки горной породы в автосамосвалы, что влияет на увеличение размеров площадок и объемов горно-капитальных работ, это

является существенным недостатком в условиях формирования ВНБ.

– *Объем взрываемого блока.* Во время расконсервации временно нерабочего борта объем блока зависит от принятой технологии ведения горных работ, размеров площадок, высот уступов и их расположения, типов и свойств горных пород, условий безопасной работы, а также габаритов выемочно-погрузочного оборудования. Из-за уменьшенных габаритов гидравлических экскаваторов взрываемый блок имеет меньшие объемы.

– *Зачистка подошвы забоя.* Горизонтальная зачистка забоя ковшом возможна только гидравлическим экскаватором, что вместе с функцией поворота ковша обеспечивает высокий коэффициент его наполнения. В забое гидравлический экскаватор может работать без вспомогательного оборудования, самостоятельно очищая подошву от осыпавшейся породы.

– *Тип привода и энергоснабжение.* Конструкция гидравлических экскаваторов предполагает наличие как дизельного привода, так и электрического исполнения, тогда как карьерные мехлопаты оборудованы только электрическим приводом. Электрический привод более экономичный и оказывает минимальное воздействие на окружающую среду. Однако у дизельных гидравлических экскаваторов имеется преимущество – это отсутствие необходимости строительства, обслуживания и переноса линий электропередач. На работах по расконсервации временно нерабочего борта данный фактор может иметь ключевое значение, поскольку в условиях разноса ВНБ перенос линий коммуникаций является постоянной задачей.

– *Масса экскаватора и его маневренность.* Масса экскаватора и его маневренность влияет на капитальные вложения и стоимость обслуживания, которые растут при увеличении массы оборудования. Канатные экскаваторы имеют большую массу, но при этом более надежны и имеют больший срок эксплуатации.

Гидравлические экскаваторы за счет сниженной массы оказывают меньшее удельное давление на грунт, являются более маневренными, в том числе за счет

отсутствия зависимости от линий электроснабжения. У гидравлических экскаваторов возможность преодолевать уклоны в 1,5-2,5 раза выше, чем у мехлопаты с аналогичным объемом ковша. В условиях ВНБ имеется потребность в частых перегонах оборудования на новые горизонты, тогда гидравлический экскаватор более эффективен.

По **экономическим** факторам:

– *Капитальные затраты на приобретение.* При приобретении равных по вместимости ковша мехлопат и гидравлических экскаваторов, вторые имеют меньшую капитальную стоимость, в основном, за счет меньшей металлоемкости, а также из-за больших затрат, связанных с установкой электроники управления у мехлопат.

– *Удельные эксплуатационные расходы.* Удельные эксплуатационные расходы рассчитываются на 1 т извлекаемой горной массы, при этом необходимо учитывать период эксплуатации оборудования. Гидравлические экскаваторы имеют меньшую капитальную стоимость и при сравнительно небольших сроках эксплуатации, порядка 5-7 лет, их эксплуатационные расходы будут сопоставимы с эксплуатационными расходами карьерных мехлопат. Экономичность мехлопат проявляется в полной мере при многолетней эксплуатации, в основном, за счет меньших затрат, связанных с потреблением электроэнергии и большим сроком эксплуатации оборудования.

– *Расход на топливо.* Расход на топливо составляет большую часть эксплуатационных затрат экскаватора. Для электрических карьерных мехлопат расходы на электроэнергию относительно небольшие и стабильные в сравнении с эксплуатационными затратами дизельных гидравлических экскаваторов.

– *Срок службы экскаватора.* Канатные экскаваторы могут эксплуатироваться в течение 15-30 лет с капитальным ремонтом каждые 6-7 лет. В то время, как гидравлические машины имеют меньший ресурс эксплуатации и, как правило, уже через 5 лет эксплуатации им требуется капитальный ремонт.

Исходя из проведенного анализа следует, что для выполнения работ по

расконсервации временно нерабочего борта рациональней использовать гидравлические машины. Гидравлические экскаваторы более компактные, мобильные, а также отсутствует необходимость в монтаже линий электропередач. Кроме того, гидравлические экскаваторы типа обратная лопата позволяют применять технологические схемы, недоступные электрическим мехлопатам. Использование гидравлических машин позволит сформировать ВНБ с более узкими площадками и, как следствие, увеличить угол откоса нерабочего борта и снизить объемы горно-капитальных работ.

При проектировании карьера с использованием этапов и формированием временно нерабочего борта целесообразно задействовать отдельный парк оборудования для работы на ВНБ. Поскольку гидравлические экскаваторы оборудуются как прямой лопатой, так и обратной, существует достаточное количество вариантов их применения на уступе. Имеется большой потенциал в изучении и усовершенствовании существующих технологических схем, а также оптимизации конструкций ВНБ для повышения эффективности обработки месторождений.

### **2.3 Обоснование технологии формирования рабочего борта карьера с учетом обеспечения необходимых темпов расконсервации ВНБ**

Планирование работ по расконсервации временно нерабочего борта начинается на этапе принятия решения о формировании ВНБ и определения его конструкции. От выбора оборудования и очередности обработки горизонтов зависит безопасность работы, скорость погашения ВНБ и время начала добычных работ, что напрямую отражается на экономической эффективности обработки карьера.

Конструктивно временно нерабочий борт представляет собой совокупность уступов карьера, иногда сдвоенных или даже строенных, между которыми в определенном порядке чередуются уменьшенные рабочие площадки и площадки минимальной ширины (бермы безопасности). Конструкция ВНБ должна отвечать

двум требованиям: обеспечивать требуемый угол откоса временно нерабочего борта и позволить оперативно и безопасно возобновить добычные работы.

Выбор оптимальной конструкции ВНБ следует осуществлять по критериям, определенным в результате анализа чувствительности параметров.

Оценку технологических схем предлагается проводить по следующим параметрам: угол наклона рабочего борта карьера, скорость разноса временно нерабочего борта, а также скорость углубки карьера [54].

Угол откоса борта карьера во время разноса ВНБ определяется по формуле, предложенной в методике А.И. Арсентьева [11] (2.10)

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{\sum h_y}{Ш_{\text{ср}} + \sum h_y \operatorname{ctg} \alpha'} \quad (2.10)$$

где  $\beta$  – угол наклона борта карьера во время разноса ВНБ; град.;

$\sum h_y$  – совокупная высота всех уступов карьера, м;

$Ш_{\text{ср}}$  – средняя ширина оставляемых на ВНБ берм, м;

$\alpha'$  – угол откоса уступа карьера, град.

Размер средней ширины площадок на формируемом временно нерабочем борте ( $Ш_{\text{ср}}$ ) определяется как среднее арифметическое значение величины всех уменьшенных рабочих площадок и предохранительных берм ВНБ. Размеры уменьшенных площадок не должны быть меньше ширины предохранительных берм ( $Ш_1$  и  $Ш_2$ ). Уменьшенная рабочая площадка должна быть достаточной ширины для размещения развала взорванной горной массы при расконсервации ВНБ и отвечать требованиям безопасной работы горнотранспортного оборудования (2.11)

$$\begin{aligned} Ш_1 &\geq Б; Ш_2 \geq Б; Ш_3 \geq Р; \\ Ш_3 &\geq Ш_{\text{р.п}} + Б - А_3 \end{aligned} \quad (2.11)$$

где  $Б$  – ширина бермы безопасности, м;

$А_3$  – ширина боковой заходки экскаватора, м;

$Р$  – ширина развала горной породы, м;

$Ш_{\text{р.п}}$  – ширина рабочей площадки экскаватора, м.

На рисунке представлен вариант конструкции ВНБ с уменьшенной рабочей площадкой через каждые 3 уступа, разделенных между собой предохранительными бермами (рисунок 2.6).

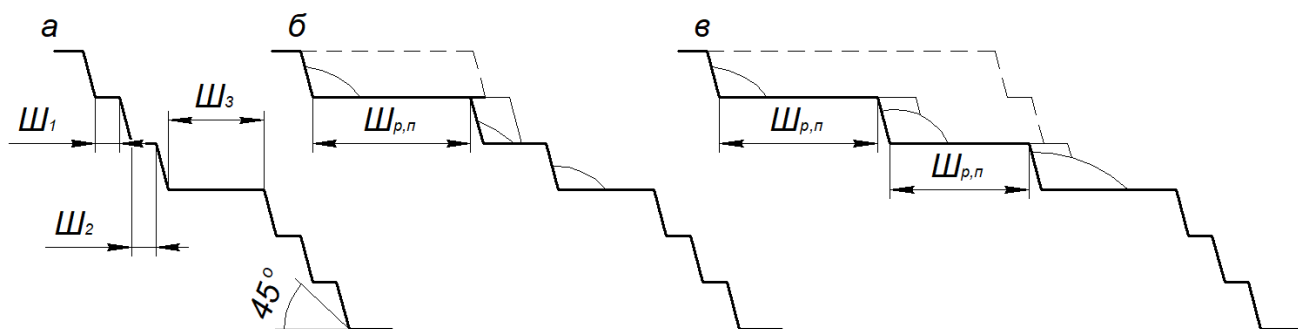


Рисунок 2.6 – Схемы возобновления работ на временно нерабочем борту

Главным фактором, который ограничивает угол откоса ВНБ, является размер развала взорванной горной массы [97].

Используя карьерный автотранспорт, при размещении развала взорванной массы на площадке используются поперечные, диагональные заходки и короткозамедленные схемы взрывания.

Для карьеров, где применяется железнодорожный транспорт, используются тупиковые схемы забоя экскаватора, для таких схем необходима минимальная ширина заходки. Для того чтобы исключить перевалку взорванной горной массы в выработанное пространство необходимо уменьшить ширину развала породы, это возможно достигнуть путем применения однорядного расположения взрывных скважин уменьшенного диаметра и использования короткозамедленных схем коммутации.

Ширина рабочей площадки находится исходя из применяемого забое оборудования (2.12)

$$Ш_{р.п} = A_3 + Ш_{тб}, \quad (2.12)$$

где  $Ш_{тб}$  – ширина транспортной бермы, м.

Ширина экскаваторной заходки зависит от радиуса черпания экскаватора на уровне его стояния (2.13) [43]

$$A_3 = 1,5 - 1,7R_ч, \quad (2.13)$$

где  $R_ч$  – радиус черпания экскаватора, работающего в забое, м.



В случае, если принимать ширину уменьшенной рабочей площадки экскаватора равной величине развала взорванной горной массы, а ширину площадок, располагающихся между смежными уступами, приравнивать к бермам безопасности, то угол откоса ВНБ (2.14):

$$ctg\beta = \frac{1}{h_y} \left( \frac{\text{Ш}_{\text{р.п}} - \text{Б}}{N + 1} + \text{Б} \right) + ctga, \quad (2.14)$$

где  $N$  – число уступов с уменьшенными рабочими площадками, шт.

Принимая минимальную ширину рабочих площадок для работы оборудования на уступе, а угол откоса уступа  $a = 70^\circ$  (для скальных пород), получим следующие величины угла откоса ВНБ (таблица 2.4).

Таблица 2.4. – Расчетные углы откоса временно нерабочего борта

Число уступов, через которые оставлены уменьшенные по ширине рабочие площадки	Угол откоса ВНБ (градусы), при высоте уступа, м		
	10	15	20
0	14	20	26
1	23	32	41
2	30	41	50
3	34	47	57

У угла откоса временно нерабочего борта существует жесткая взаимосвязь со скоростью углубки на карьере. При возрастании угла откоса ВНБ на  $1^\circ$ , объемы консервируемой вскрышной породы увеличиваются в среднем на 4%. Также возрастают и объемы работ по расконсервации нерабочего борта, что снижает скорость отработки.

Таким образом, выбор конструкции временно нерабочего борта должен осуществляться исходя из потребностей в скорости расконсервации и требований к объему консервируемой породы. При этом должны выполняться условия безопасной работы горнотранспортного оборудования. В случае, если какие-то из условий выполнить невозможно, то следует принимать большую ширину рабочих площадок путем увеличения угла откоса временно нерабочего борта.

Порядок развития горных работ при расконсервации узких рабочих площадок описан в работах [106,110] и представлен на рисунке 2.7.

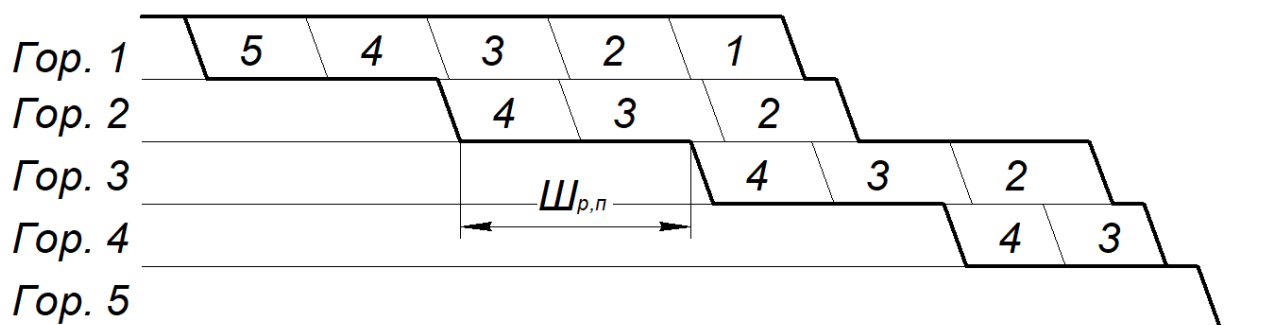


Рисунок 2.7 – Порядок развития горных работ при расконсервации ВНБ

На рисунке 2.7 представлен вариант расконсервации временно нерабочего борта, конструкция которого предполагает оставление уменьшенных рабочих площадок через два горизонта (цифрами отмечен порядок отработки объемов горных пород на уступах).

Анализ работы карьеров, на которых разрабатываются рудные крутопадающие залежи и применялась технология с формированием временно нерабочего борта, позволяет сделать вывод, что углы откосов ВНБ располагаются в диапазоне  $21 - 41^\circ$  (таблица 2.5).

Поскольку расконсервация временно нерабочего борта осуществляется погоризонтно сверху вниз, для начала работ на нижележащем горизонте необходимо расширить уменьшенную площадку на вышележащем горизонте.

Таким образом, вводятся в эксплуатацию новые горизонты, и работа по расконсервации ВНБ продолжается одновременно на нескольких уступах, вплоть до полной ликвидации временно нерабочего борта.

Для определения времени приведения временно нерабочего борта в рабочее положение при последовательной отработке  $N$  уступов используется выражение (2.15):

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n, \quad (2.15)$$

где  $t$  – время, затраченное на выемку объемов пустой породы с целью формирования рабочих площадок нормальной ширины на  $t_n$  горизонте, лет.

Для того, чтобы повысить интенсивность отработки ВНБ необходимо обеспечивать максимально возможное совмещение работ на уступах.

Объем горной породы, который нужно извлечь на горизонте для начала работ на нижележащем уступе (2.16):

$$V_{\text{бл}} = \text{Ш}_{\text{р.п}} h_y L_{\text{б}}, \quad (2.16)$$

где  $V_{\text{бл}}$  – объем породы в одном экскаваторном блоке, м<sup>3</sup>;

$L_{\text{б}}$  – длина экскаваторного блока, м;

$h_y$  – высота уступа в целике, м.

На уступе необходимо сформировать фронт горных работ с длиной, достаточной для нормальной работы выемочно-погрузочного оборудования, транспорта и обеспечить независимость работы буровых машин. При расчете минимальной длины фронта горных работ также необходимо учитывать длину резервной зоны [68,74,37,80].

Длина экскаваторного блока (2.17) [26]

$$L_{\text{б}} = \sum_{i=1}^n l_{\text{в}i} + \sum_{j=1}^m l_{\text{б}j} + \sum_{k=1}^f l_{\text{т}k} + l_{\text{р}}, \quad (2.17)$$

где  $\sum l_{\text{в}}$  – общая длина выемочных блоков, м;

$\sum l_{\text{б}}$  – общая длина буровых блоков, м;

$\sum l_{\text{т}}$  – общая длина транспортных зон, м;

$l_{\text{р}}$  – длина резервной зоны, м;

$i, j, k$  – номер выемочного, бурового блока и транспортной зоны;

$n, m, f$  – количество выемочных, буровых блоков и транспортных зон.

Средняя ширина оставляемых площадок на ВНБ (2.18):

$$\text{Ш}_{\text{ср}} = \frac{(\text{Ш}_{\text{мин}} - \text{Б})}{(N + 1)} + \text{Б} \quad (2.18)$$

где  $N$  – число уступов, через которые оставляются рабочие площадки минимальной ширины, шт.;

$\text{Ш}_{\text{мин}}$  – ширина уменьшенной рабочей площадки, оставляемой на ВНБ, м.

Объем породы, который необходимо извлечь из всего горизонта временно нерабочего борта при расконсервации (2.19):

$$V_{\text{гор},m} = \left( \frac{H_{\text{ВНБ}} - (m-1) * h_y}{\cos(90^\circ - \beta)} * \frac{\sin(\beta - f)}{\sin f} - \text{Ш}_{\text{ср}} \right) * L_{\text{ВНБ}} * h_y, \quad (2.19)$$

где  $V_{\text{гор},m}$  – объем горной породы, извлекаемый при расконсервации горизонта  $m$ , м<sup>3</sup>;

$m$  – номер горизонта;

$f$  – угол откоса рабочего борта карьера, град.

Угол откоса рабочего борта карьера, сформированный после расконсервации ВНБ (2.20)

$$f = \arctg \frac{\sum h_y}{\text{Ш}_{\text{рп}} + \sum h_y \text{ctg} \alpha} \quad (2.20)$$

Скорость углубки горных работ при расконсервации временно нерабочего борта (2.21):

$$v_{\text{уг}} = \frac{Q_3 n}{(\text{Ш}_{\text{р.п}} - \text{Ш}_{\text{ср}}) L_{\text{ВНБ}}}, \quad (2.21)$$

где  $v_{\text{уг}}$  – скорость понижения горных работ на временно нерабочем борту, м/год;

$Q_3$  – годовая производительность экскаватора, м<sup>3</sup>/год;

$n$  – количество экскаваторов одновременно работающих на уступе, шт.

Используя формулы 2.14 и 2.21, можно подставить значение ширины рабочей площадки и найти взаимосвязь угла откоса ВНБ со скоростью понижения горных работ (2.22):

$$\text{ctg} \beta = \frac{\text{Ш}_{\text{р.п}}}{h_y} + \text{ctg} \alpha - \frac{Q_3 n}{h_y L_{\text{ВНБ}} v_{\text{уг}}}. \quad (2.22)$$

В таблице 2.5 представлены параметры временно нерабочего борта и интенсивность его отработки для горнотехнических условий рудных карьеров-аналогов.

Угол откоса временно нерабочего борта имеет прямую взаимосвязь со скоростью понижения горных работ и при его возрастании увеличивается и скорость понижения горных работ.

Таблица 2.5. – Параметры временно нерабочего борта и интенсивность его отработки на рудных карьерах-аналогах

Карьер	Угол откоса ВНБ, град.	Длина фронта работ, м		Высота ВНБ, м	Скорость понижения горных работ на ВНБ, м/год	Способ механизации работы на ВНБ
		пределы	средняя			
Сибайский:						
по проекту	33-34	50-200	160	-	-	-
фактически	27-35	60-150	100	80	30	мехлопаты + автотранспорт
Коунрадский	30-41	60-250	150	135	30	мехлопаты + автотранспорт с переходом на ж/д транспорт
Гороблагодатский	40-46	100-150	120	110	22	мехлопаты + автотранспорт
Николаевский (проект)	38	110-260	170	140	42	мехлопаты + автотранспорт
Баженовские асбестовые (проект)	21-31	50-500	до 300	300	30	мехлопаты + ж/д транспорт
«Угольный ручей»	35	100-200	150	95	-	мехлопаты + автотранспорт с переходом на ж/д транспорт
Коркинский (проект)	30	100-250	До 170	250	60	мехлопаты + ж/д транспорт

Выразим скорость углубки  $v_{уг}$  из формулы 2.22 и получим выражение (2.23):

$$v_{уг} = \frac{Q_{э}n}{[\text{Ш}_{р.п} - h_y(ctg\beta - ctg\alpha)]L_{ВНБ}}. \quad (2.23)$$

Смежные уступы возможно отрабатывать только при выполнении условия, когда расстояние между двумя экскаваторами не меньше, чем длина экскаваторного блока. На каждый новый отрабатываемый экскаваторный блок первого горизонта вводится в эксплуатацию новый горизонт. Таким образом, общее количество техники, которое возможно задействовать на расконсервации ВНБ ограничивается наличием подготовленного пространства для размещения техники.

Необходимо учитывать, что формируемый фронт горных работ должен обладать длиной, которая позволит обеспечить производительность карьера в 1 млн м<sup>3</sup> в год при постоянной высоте уступов и скорости продвижения [41].

Для определения порядка ввода (вывода) экскаваторных комплексов на расконсервируемых горизонтах необходимо определить количество

экскаваторных блоков на каждом уступе (2.24)

$$Z_m = \frac{V_{\text{гор.}m}}{V_{\text{бл}}}, \quad (2.24)$$

где  $Z_m$  – количество экскаваторных блоков на горизонте  $m$ , шт.

Максимальное количество экскаваторов, которое возможно задействовать при расконсервации временно нерабочего борта зависит от количества экскаваторных блоков и количества горизонтов подлежащих расконсервации [32].

Временно нерабочий борт может иметь такую конструкцию, где количество горизонтов больше, чем количество экскаваторных блоков первого горизонта, тогда ввод новых горизонтов в работу будет ограничен скоростью разноса вышележащих уступов. Максимально возможное количество экскаваторов определяется исходя из числа экскаваторных блоков первого горизонта, поскольку отработка каждого нового блока дает возможность начать расконсервацию еще одного уступа (2.25).

Если  $N_{\text{гор}} > Z_1$ , то

$$S_{\text{макс}} = gpZ_1, \quad (2.25)$$

где  $S_{\text{макс}}$  – максимальное количество экскаваторов, которое возможно использовать на расконсервации ВНБ, шт.;

$N_{\text{гор}}$  – количество горизонтов, подлежащих расконсервации, шт.;

$g$  – количество экскаваторов, обрабатывающих один блок, шт.;

$p$  – количество блоков на горизонте, обрабатываемых одновременно, шт.

В ситуации, когда горизонтов ВНБ, подлежащих расконсервации, меньше, чем количество экскаваторных блоков первого горизонта, максимальное количество техники будет зависеть от количества блоков, поскольку по мере отработки верхнего горизонта экскаваторы будут высвобождаться и перемещаться на нижележащие уступы (2.26).

Если  $N_{\text{гор}} \leq Z_1$ , то

$$S_{\text{макс}} = gpN_{\text{гор}}. \quad (2.26)$$

Для того, чтобы выемочно-погрузочное оборудование не находилось

в простое, количество вовлекаемых в работу экскаваторов не должно превышать расчетную величину  $S$  (2.26).

Максимальная скорость расконсервации достигается, если принять число работающих на ВНБ экскаваторов равным расчетному максимальному количеству, тогда скорость расконсервации будет ограничиваться только скоростью отработки самого верхнего горизонта. Однако не всегда такой вариант экономически целесообразен, поскольку с ростом числа вовлекаемой в работу техники растут и экономические издержки.

Одним из способов существенно ускорить процесс приведения временно нерабочего борта в рабочее положение – это изменение организации работ на уступе. Нарращивание количества экскаваторов, работающих на одном блоке и, соответственно, на одном горизонте, имеет определенные пределы. В работе [37] было определено, что на одном блоке рационально устанавливать не более двух экскаваторов, при одновременной установке трёх существенно снижается производительность отдельно взятой единицы техники.

В случае, если рассматривать «классический» способ расконсервации, то ввод нового горизонта будет осуществляться за время отработки одного экскаваторного блока объемом  $V_{бл}$ , это время определяется из выражения (2.27):

$$T_{бл} = \frac{V_{бл}}{Q_э g}, \quad (2.27)$$

где  $T_{бл}$  – время отработки одного экскаваторного блока, лет.

При классической технологической схеме расконсервации ВНБ с поуступным вводом новых горизонтов полное время расконсервации горизонта  $m$ , с учетом времени, затраченного на подготовку вышележащих горизонтов, будет определяться по формуле (2.28)

$$T_{гор.m} = T_{бл} * m + \frac{V_{гор.m}}{Q_э * n}, \quad (2.28)$$

где  $T_{гор.m}$  – время расконсервации горизонта  $m$ , лет.

Разработка скальных пород предполагает ведение буровзрывных работ при расширении площадок временно нерабочего борта. При планировании введения

в работу новых горизонтов необходимо брать во внимание то, что при взрыве часть пустой породы будет располагаться на нижележащем горизонте. Следует учитывать, что это дополнительные объемы горной массы при планировании перехода на новый горизонт.

Поскольку условия расконсервации временно нерабочего борта отличаются от условий эксплуатации оборудования без использования ВНБ, необходимо учитывать уменьшение годовой производительности экскаватора.

Производительность гидравлического экскаватора (2.29) [114]:

$$Q_{\text{ч}} = \text{Ц}_{\text{ч}} K_{\text{п-ч}} E K_{\text{н.к}} \text{Э}, \quad (2.29)$$

где  $Q_{\text{ч}}$  – производительность экскаватора часовая, м<sup>3</sup>/час;

$\text{Ц}_{\text{ч}}$  – циклов погрузки в час, шт.;

$K_{\text{п-ч}}$  – коэффициент поворота-черпания;

$E$  – вместимость ковша экскаватора, м<sup>3</sup>;

$K_{\text{н.к}}$  – коэффициент наполнения ковша экскаватора;

$\text{Э}$  – эффективность работы экскаватора (коэффициент технологии выемки).

При работе в условиях расконсервации временно нерабочего борта рудного крутопадающего месторождения карьерным гидравлическим экскаватором с  $E > 1,72 \text{ м}^3$  принимаются следующие коэффициенты:  $\text{Ц}_{\text{ч}} = 100$ , для обратной лопаты;  $\text{Ц}_{\text{ч}} = 135$ , для прямой лопаты;  $K_{\text{п-ч}} = 0,94$ ;  $K_{\text{н.к}} = 0,7$ ;  $\text{Э} = 0,75$ . [52].

Годовая производительность экскаватора (2.30):

$$Q_{\text{э}} = Q_{\text{ч}} n_{\text{ч}} n_{\text{см}} n_{\text{д}} k_{\text{исп}}, \quad (2.30)$$

где  $n_{\text{ч}}$  – количество часов в одной смене, шт.;

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

$n_{\text{д}}$  – количество рабочих дней в году, шт.;

$k_{\text{исп}}$  – коэффициент использования экскаватора.

Производительность экскаватора напрямую зависит от его размеров, однако необходимо учитывать, что при использовании более мощных машин увеличиваются и размеры минимальной ширины площадки. По результатам проведенного анализа чувствительности определено, что ширина оставляемых



берм и площадок на ВНБ оказывает наибольшее влияние на угол ВНБ и объемы консервации.

В таблице 2.6 представлены результаты анализа ряда типоразмеров гидравлических экскаваторов, используемых на расконсервации, и их влияние на угол наклона временно нерабочего борта.

Таблица 2.6. – Результаты анализа влияния размеров используемых на расконсервации экскаваторов на угол наклона формируемого ВНБ

№	Объем ковша, м <sup>3</sup>	Радиус черпанья, м	Средняя ширина уменьшенной рабочей площадки, м	Угол ВНБ, град
1	1	9,8	11,8	33
2	1,5	10,1	12,1	32
3	1,9	11,08	13,3	31
4	2,5	11,9	14,3	29
5	4	12	14,4	29
6	4,4	13,7	16,4	26
7	6,5	14	16,8	26
8	7,1	15,3	18,4	24
9	12	15,78	18,9	24
10	15	16,2	19,4	23
11	18	17,3	20,8	22
12	22	17,6	21,1	22
13	29	19,8	23,8	20
14	36	20,5	24,6	19
15	42	20,7	24,8	19
Зависимость угла наклона формируемого ВНБ от объема ковша экскаватора, использование которого планируется на расконсервации				
Объем ковша, м <sup>3</sup>	Уменьшение угла ВНБ при увеличении объема ковша на 1 м <sup>3</sup> , град.			
с 1 до 4	1,4			
с 4 до 12	0,6			
с 12 до 22	0,2			
с 22 до 42	0,12			

Таким образом, увеличение рабочих размеров оборудования, используемого при расконсервации, влияет на объёмы консервации и скорость расконсервации. Так, применение экскаваторов с объемом ковша более 12 м<sup>3</sup> существенно осложняет возможность формирования временно нерабочего борта с высоким углом наклона.

Для определения оптимального количества одновременно используемых на расконсервации экскаваторов в расчетах были приняты усредненные данные по карьерам-аналогам и данные из справочной литературы [66,83] (таблица 2.7). В исходных данных используются усредненные параметры гидравлических экскаваторов с прямой и обратной лопатой, с емкостью ковша 5 м<sup>3</sup>.

В качестве вида карьерного транспорта используется автомобильный транспорт, ширина транспортной бермы определяется исходя из габаритов автосамосвалов, работающих в паре с принятым выемочно-погрузочным оборудованием.

Таблица 2.7. – Принятые исходные данные для расчета параметров конструкции и расконсервации ВНБ

Параметр	Величина
$\alpha$ – угол откоса уступа карьера	70°
$h_y$ – высота уступа в целике	10 м
$H_{\text{ВНБ}}$ – высота целика ВНБ	100 м
$L_{\text{ВНБ}}$ – длина временно нерабочего борта	600 м
$L_{\text{б}}$ – длина экскаваторного блока	300 м
$Q_{\text{э}}$ – годовая производительность экскаватора	1150000 м <sup>3</sup> /год
$N$ – число уступов, через которые оставляются рабочие площадки минимальной ширины	2 шт.
$B$ – ширина бермы безопасности	5 м
$Ш_{\text{мин}}$ – ширина уменьшенной рабочей площадки, оставляемой на ВНБ	25 м
$Ш_{\text{тб}}$ – ширина транспортной бермы	22 м
$R_{\text{ч}}$ – радиус черпания экскаватора, работающего в забое	12 м
$n$ – количество экскаваторов, одновременно работающих на уступе	2 шт.
$g$ – количество экскаваторов, одновременно работающих на одном блоке	1 шт.
$p$ – количество одновременно обрабатываемых блоков на уступе	2 шт.

Расчет представлен на примере технологической схемы с поуступной расконсервацией ВНБ, при помощи гидравлических экскаваторов оборудованных прямой лопатой (рисунок 2.8)

Ширина экскаваторной заходки:

$$A_3 = 1,5 * 12 = 18 \text{ м.}$$

Ширина рабочей площадки:

$$Ш_{\text{р.п}} = 18 + 22 = 40 \text{ м.}$$

Средняя ширина оставляемых площадок на ВНБ:

$$Ш_{\text{ср}} = \frac{(25 - 5)}{(2 + 1)} + 5 = 11,7 \text{ м.}$$

Объем горной породы, который необходимо извлечь на горизонте для начала работ на нижележащем уступе:

$$V_{\text{бл}} = 40 * 10 * 300 = 120000 \text{ м}^3.$$

Угол откоса ВНБ:

$$\beta = \arctg \frac{100}{11,7 + 100 * ctg70^{\circ}} = 33 \text{ град.}$$

Угол наклона рабочего борта после расконсервации:

$$f = \arctg \frac{100}{40 + 100 * ctg70^{\circ}} = 13 \text{ град.}$$

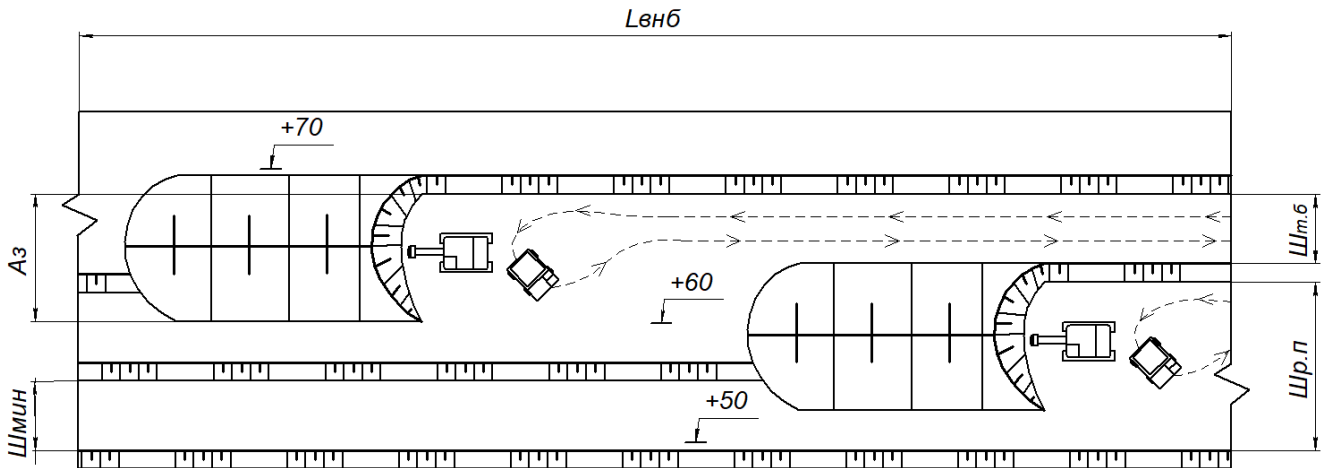


Рисунок 2.8 – Технологическая схема поуступной расконсервации ВНБ

Объем горной породы, который необходимо извлечь из первого горизонта временно нерабочего борта для формирования рабочей площадки нормальной ширины:

$$V_{\text{гор.1}} = \left( \frac{100 - (1 - 1) * 10}{\cos(90^{\circ} - 33^{\circ})} * \frac{\sin(33^{\circ} - 13^{\circ})}{\sin 13^{\circ}} - 11,7 \right) * 600 * 10 = 1630000 \text{ м}^3.$$

Скорость углубки при расконсервации временно нерабочего борта:

$$v_{\text{уг}} = \frac{1150000 * 2}{[40 - 10 * (ctg 33^{\circ} - ctg 70^{\circ})] * 600} = 135,29 \text{ м/год.}$$

Количество экскаваторных блоков на первом уступе:

$$Z_1 = \frac{163000}{120000} = 14 \text{ шт.}$$

При высоте временно нерабочего борта 100 м и высота одного уступа 10 м предполагается  $N_{\text{гор}} = 10$  шт.

Таким образом, выполняется условие  $N_{\text{гор}} \leq Z_1$  и максимальное количество экскаваторов, которое возможно использовать на расконсервации ВНБ при принятой технологической схеме будет определяться, как:

$$S_{\text{макс}} = 10 * 1 * 2 = 20 \text{ шт.}$$

Продолжительность расконсервации первого горизонта с технологической схемой работы двумя экскаваторами на одном горизонте:

$$T_{\text{гор1}} = \frac{1630000}{1150000 * 2} = 0,7 \text{ лет.}$$

Продолжительность отработки блока экскаватора:

$$T_{\text{бл}} = \frac{120000}{1150000 * 1} = 0,1 \text{ год.}$$

Продолжительность расконсервации ВНБ с учетом погоризонтного ввода новых экскаваторов в работу:

$$T_{\text{гор10}} = 0,1 * 10 + \frac{100000}{1150000 * 2} = 1,1 \text{ год.}$$

Для принятой технологической схемы расконсервации временно нерабочего борта минимальное время приведения ВНБ в рабочее положения составит 1,1 год.

В зависимости от принятой технологической схемы будет определяться количество экскаваторов и время расконсервации ВНБ.

На рисунке 2.9 представлена зависимость времени расконсервации временно нерабочего борта от принятого количества техники.

Существует зависимость между количеством используемых экскаваторов и продолжительностью расконсервации ВНБ. Полученная зависимость не является линейной, а имеет вид степенной функции, поскольку ввод новой единицы техники ограничивается продолжительностью работы на вышележащем горизонте. Так, при увеличении парка экскаваторов в 2 раза с 10 до 20 шт., продолжительность формирования рабочего борта сокращается всего на 18%.

При уменьшении количества техники, после завершения работ на верхних горизонтах, экскаватор может использоваться и дальнейшем, путем перемещения на нижние горизонты, что является наиболее рациональным вариантом использования оборудования.

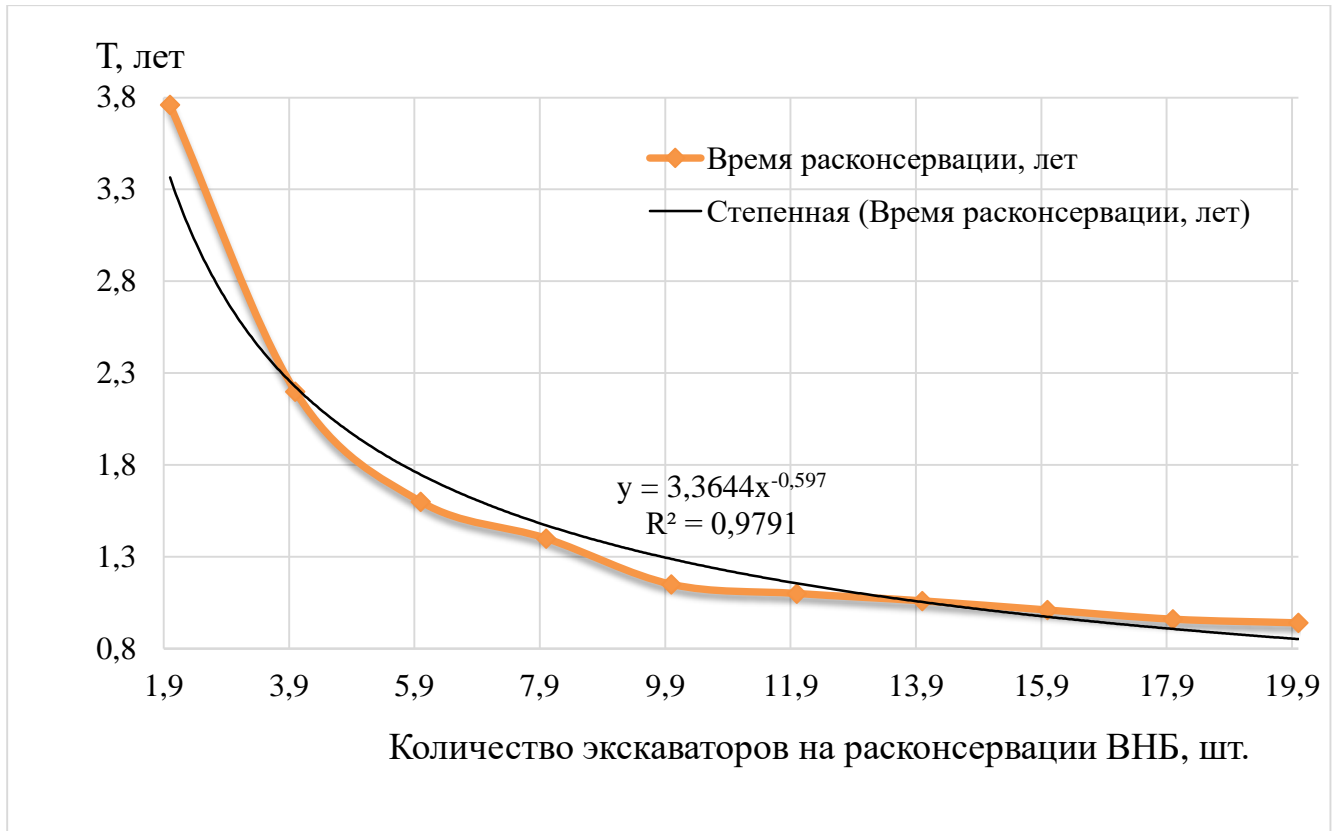


Рисунок 2.9 – График изменения времени расконсервации ВНБ при увеличении количества работающих экскаваторов

Выбор оптимального количества экскавационной техники целесообразно осуществлять исходя из необходимой скорости расконсервации и условия обеспечения экономической эффективности. Ввод дополнительных экскаваторов приводит к существенному увеличению эксплуатационных расходов и возрастанию капитальных затрат.

Таким образом, при принятии технологической схемы расконсервации ВНБ следует учитывать планируемое количество оборудования и очередность его ввода в работу. При определении продолжительности расконсервации нерабочего борта необходимо определять время подготовки горизонта, зависящее от параметров экскаваторного блока и скорости его отработки.

## 2.4 Выводы по второй главе

1. Для оценки степени влияния параметров конструкции временно нерабочего борта и показателей расконсервации на величину консервируемых объемов пород предложено использовать коэффициент эластичности. Определена

степень влияния исследуемых факторов на объемы консервации: ширина бермы на ВНБ – 98%; длина фронта горных работ на ВНБ – 75%; угол рабочего борта карьера – 72%; количество работающих одновременно экскаваторов на уступе – 49%; высота одного уступа на ВНБ – 39%; производительность экскаватора – 35%; скорость углубки добычных работ – 30%.

2. Обосновано, что при планировании конструкции временно нерабочего борта необходимо обеспечить его своевременное погашение с наращиванием темпов углубки при его расконсервации. Фронт горных работ должен обладать длиной, которая позволит обеспечить производительность карьера в 1 млн м<sup>3</sup> в год при постоянной высоте уступов и скорости продвижения.

3. Доказано, что объемы консервации ВНБ и скорость его расконсервации напрямую зависят от производительности применяемого оборудования, область применения которого ограничивается конструкцией ВНБ. Определено, что при увеличении объема ковша экскаватора, используемого на расконсервации на 1 м<sup>3</sup> угол наклона уменьшается на 1,4 градуса (для экскаваторов с объемом ковша от 1 до 4 м<sup>3</sup>), 0,6 градуса (для экскаваторов с объемом ковша от 4 до 12 м<sup>3</sup>), 0,2 градуса (для экскаваторов с объемом ковша от 12 до 22 м<sup>3</sup>), 0,12 градуса (для экскаваторов с объемом ковша от 22 до 42 м<sup>3</sup>).

4. Предложена методика определения продолжительности расконсервации ВНБ, в которой учитывается конструкция нерабочего борта, количество оборудования и очередность его ввода в расконсервацию.

5. Получена степенная зависимость между количеством экскаваторов, работающих одновременно на ВНБ, и временем расконсервации (величина достоверности  $R^2$  составляет 0,9791).

6. При использовании дополнительных единиц техники время на расконсервацию сокращается в 2 раза, однако при дальнейшем кратном увеличении оборудования время уменьшается незначительно. Так, при увеличении количества экскаваторов с 10 до 20 единиц срок расконсервации сокращается всего на 18%.

7. Доказано, что при определении рациональной продолжительности расконсервации ВНБ необходимо определять время подготовки горизонта, зависящее от параметров экскаваторного блока и скорости его отработки.

## **ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧЕГО БОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕМОВ КОНСЕРВАЦИИ И СКОРОСТИ РАСКОНСЕРВАЦИИ**

### **3.1 Обоснование выбора технологических схем расконсервации временно нерабочего борта**

Во время работ по расконсервации временно нерабочего борта угол формируемого рабочего борта может варьироваться и зависит от ряда факторов: технологическая схема расконсервации, порядок ведения горных работ, тип и количество используемого горного оборудования, геологические условия. При увеличении спроса на добываемую руду скорость погашения ВНБ увеличивается и угол откоса, соответственно, становится меньше. Для увеличения угла откоса нерабочего борта необходимо уменьшать рабочие площадки вплоть до размеров предохранительных берм, также возможно создание сдвоенных уступов. Расположение и количество уменьшенных площадок, а также наличие сдвоенных уступов будет определять конструкцию ВНБ и его основные параметры.

Интенсивность горных работ по разному временно нерабочего борта зависит от конструкции ВНБ и применяемой технологической схемы расконсервации. Технологическая схема включает в себя конструктивные параметры забоев, количество и тип используемого горнотранспортного оборудования, а также транспортную логистику на горизонтах.

Расконсервацию временно нерабочего борта можно осуществлять как с одного, так и с двух направлений. В некоторых случаях возможно также производить расконсервацию ВНБ с нескольких направлений одновременно. На рисунке 3.1 представлена технологическая схема формирования и разноса временно нерабочего борта с двух направлений [60].



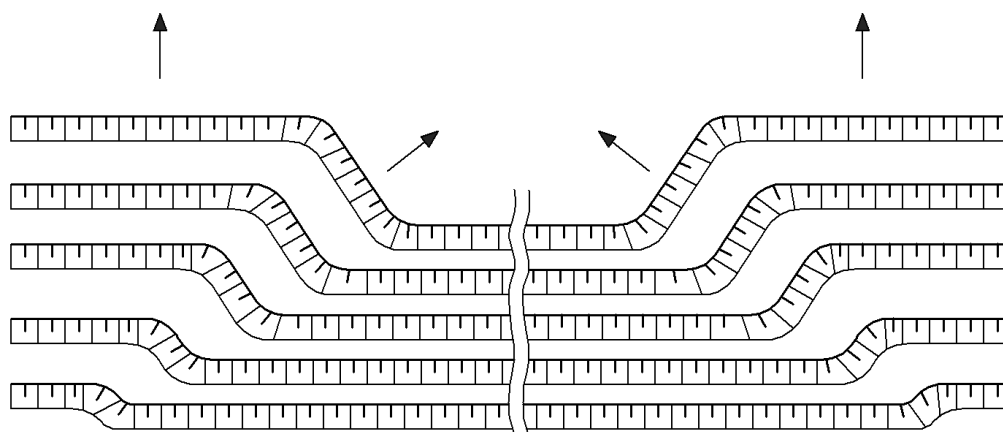


Рисунок 3.1 – Технологическая схема расконсервации ВНБ с двух направлений

Использование подобных технологических схем возможно при достаточной протяженности нерабочего борта. Начало горных работ по разному на каждом новом участке происходит с определенным отставанием. Время отставания зависит от длины ВНБ, протяженности экскаваторного блока и высоты уступа (3.1)

$$T_{\text{от}} = \frac{2h_y^2 L (\text{ctg}\varphi - \text{ctg}\beta)}{nQ}, \text{ лет} \quad (3.1)$$

где  $T_{\text{от}}$  – время отставания начала работ по разному борта, лет;

$L$  – длина временно нерабочего борта, м;

$n$  – число участков, с которых начинается разнос временно нерабочего борта;

$h_y$  – высота уступа, м;

$\varphi$  – угол откоса рабочего борта, град.;

$\beta$  – угол откоса временно нерабочего борта, град.;

$Q$  – производительность экскаватора, м<sup>3</sup>/год.

Таким образом, определяется требуемое для разнома время первоочередного участка и время ввода в работу второго участка.

Полное время расконсервации ВНБ (3.2):

$$T_p = \frac{H_a}{h_p} + T_{\text{от}}. \quad (3.2)$$

где  $T_p$  – продолжительность расконсервации ВНБ, лет;

$h_p$  – скорость понижения горных работ, м/год.

В условиях работы на узких рабочих площадках необходимо использовать подходящее под эти условия оборудование. Гидравлические экскаваторы отличаются от карьерных мехлопат линейными размерами, мобильностью и отсутствием потребности в монтаже и размещении линий электропередач. При этом они могут обеспечить необходимую интенсивность разноса борта и скорость углубки.

При возобновлении горных работ с помощью гидравлических экскаваторов, с погрузкой горной массы в автомобильный транспорт, взорванная горная порода первой заходки, которая располагается на расконсервируемом уступе с узкой рабочей площадкой, может отрабатываться с использованием одного экскаватора тупиковым забоем или двумя экскаваторами при сквозном фронте работ.

После завершения выемки всей взорванной горной массы первой заходки экскаватора осуществляются буровзрывные подготовительные работы для проведения второй заходки. Однако, если ширина расширяемой рабочей площадки меньше, чем ширина развала взорванной горной породы, то перед тем, как будет взорван второй блок, необходимо провести очистные работы на подъездных путях автотранспорта, поскольку часть развала перекроет площадку взрываемого уступа и попадет на нижний горизонт.

В случае, если во время второй заходки экскаваторный блок отрабатывается несколькими проходами экскаватора, тогда первый проход проводится тупиковым забоем, далее работа ведется торцевыми забоями. В таком случае применяется более эффективная боковая погрузка автосамосвала. Работа в тупиковом забое экономически менее эффективна, поскольку увеличивается необходимое время для установки автосамосвала под погрузку, а также увеличивается продолжительность цикла работы экскаватора из-за большего угла поворота машины.

Одновременно со второй заходкой экскаватора проводят очистные работы на нижнем уступе, где располагается часть взорванной горной массы.

Используя гидравлические экскаваторы, скорость углубки при погашении временно нерабочего борта составляет порядка 25 м/год – при односторонней работе на горизонте и 40 м/год – используя двустороннюю схему расконсервации.

Это практически в два раза превышает скорость расконсервации ВНБ при использовании электрических мехлопат [54].

Площадки на консервируемом борту карьера должны быть шириной, достаточной для разворота автосамосвалов.

Преимущество карьерного автомобильного транспорта перед железнодорожным также обусловлено тем, что скорость понижения горных работ с автомобильным транспортом больше практически в два раза. Это возможно, в том числе, за счёт возрастающей производительности экскаваторов и сравнительно меньшей длины экскаваторных блоков.

Отработка нового горизонта начинается с проведения пионерных траншей. Длина траншеи равна ширине этапа с дальнейшим подвиганием её борта параллельно его простиранию на ширину, равную размеру нормальной рабочей площадке.

В случае, если на карьере применяется технологическая схема с односторонней отработкой временно нерабочего борта и ширина площадок уступов превышает 50-70 м, то использование поперечных заходок не будет иметь преимуществ перед схемами с развитием фронта горных работ вкрест простирания рудной залежи. Схемы с поперечными заходками наиболее эффективно применяются с двусторонним методом расконсервации ВНБ. Длина временно нерабочего борта в таких схемах, как правило, превышает 2 км.

Выбор технологической схемы отработки временно нерабочего борта осуществляется в зависимости от принятой технологии расконсервации, календарного плана работ и применяемого на карьере горнотранспортного оборудования, с помощью которого планируется осуществлять погашение ВНБ.

Существуют разные варианты конструкций временно нерабочих бортов и технологических схем для их расконсервации: с использованием гидравлических экскаваторов с прямой и обратной лопатой, а также различные комбинации их на уступах.

Поуступный способ расконсервации гидравлическими экскаваторами с прямой лопатой характеризуется тем, что отработка временно нерабочего борта осуществляется поуступно сверху вниз (рисунок 3.2).

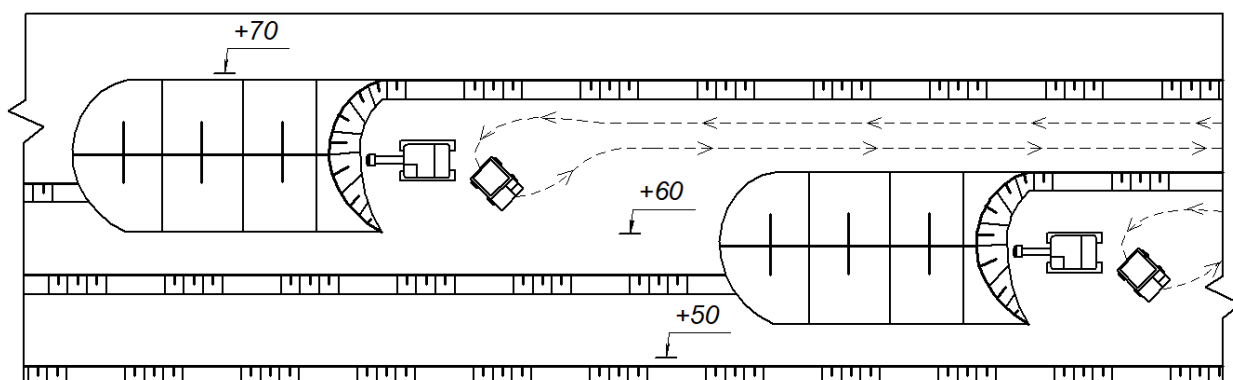


Рисунок 3.2 – Технологическая схема 1. Поуступная расконсервация ВНБ гидравлическими экскаваторами с прямой лопатой

Поскольку схема расконсервации предполагает использование транспортных берм практически на каждом горизонте и на ВНБ отсутствуют совмещенные уступы, угол временно нерабочего борта будет сравнительно небольшой, порядка 19-27°.

Расконсервация начинается с подготовительных буровзрывных работ. На горизонте + 70 м устанавливается буровой станок, по завершении работы которого осуществляется зарядка скважин и взрыв горной массы. У нижней бровки развала взорванной горной массы, на горизонте + 60 м, устанавливается гидравлический экскаватор, оборудованный ковшом прямой лопаты.

Выемка взорванной горной массы осуществляется сквозной узкой заходкой верхним черпанием с нижней погрузкой в автосамосвал. Схема движения автосамосвалов характеризуется наличием встречного движения, петлевой схемой разворота и попутным направлением порожнего транспорта и экскаватора. Возможно также применение тупиковой схемы разворота.

Работы на нижележащем горизонте начинаются с некоторым отставанием, зависящим от времени отработки экскаваторного блока вышележащего горизонта.

После отработки первого экскаваторного блока на предварительно очищенной площадке начинается аналогичная подготовка к отработке следующего уступа. Второй экскаватор устанавливается на нижележащий горизонт на уровне + 50 м.

По завершении горных работ по расконсервации ВНБ на горизонте + 60 м экскаватор с этого горизонта перемещается на нижележащие уступы. Однако, при достаточной ширине разноса и небольшой высоте ВНБ, в работе могут находиться все уступы одновременно.

Представленный вариант схемы характеризуется использованием гидравлических экскаваторов и погрузкой горной массы в автосамосвалы. Подобная схема является классическим вариантом расконсервации и часто применяется с мехлопатами, с погрузкой, как в автосамосвалы, так и в железнодорожный транспорт. Схема достаточно эффективна на временно нерабочих бортах с уменьшенными рабочими площадками на всех горизонтах и, соответственно, сравнительно небольшим углом откоса борта. С учётом производственной необходимости и наличия достаточной протяженности временно нерабочего борта возможно использование подобной схемы при расконсервации ВНБ с двух сторон, что позволит существенно уменьшить время на приведение нерабочего борта в рабочее положение.

«Классическую» схему расконсервации также возможно применить с гидравлическим экскаватором, оборудованным обратной лопатой. Такая схема расконсервации будет иметь некоторое сходство со схемой 1, но при этом будет иметь и существенные отличия (рисунок 3.3).

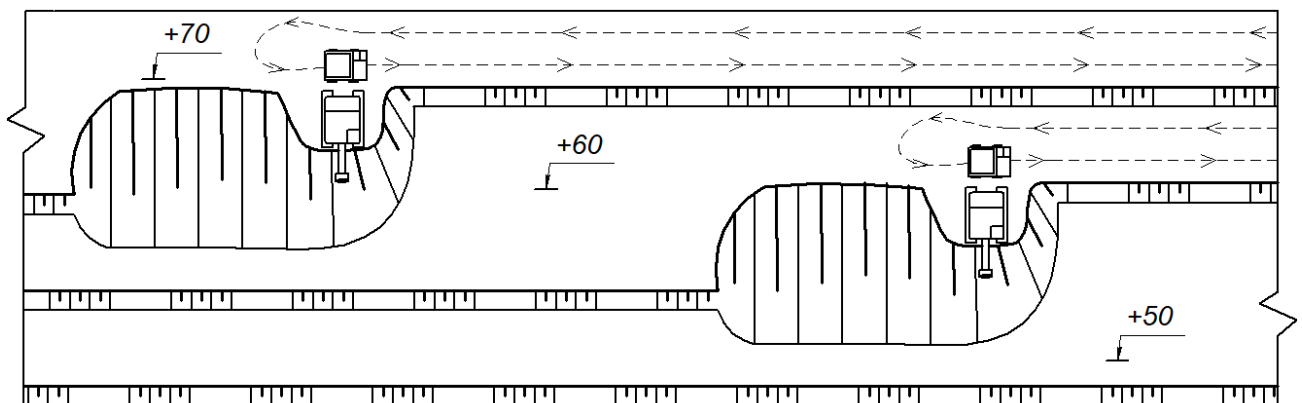


Рисунок 3.3 Технологическая схема 2. Расконсервация ВНБ гидравлическими экскаваторами, оборудованными обратной лопатой, с погрузкой в автосамосвал на уровне стояния экскаватора

Аналогичным образом расконсервация начинается с подготовительных буровзрывных работ. На горизонте + 70 м устанавливается буровой станок, по завершению работы которого осуществляется зарядание скважин и взрыв горной массы. Гидравлический экскаватор, оборудованный обратной лопатой, устанавливается на шапку взрыва на горизонте + 70 м.

Взорванная горная масса извлекается фронтальным забоем нижним черпанием с погрузкой на горизонте установки в автосамосвал. Используется двусторонняя встречная схема движения автосамосвалов, разворот петлевой, погрузка осуществляется с бокового бока автосамосвала. Направление движения порожнего транспорта относительно экскаватора – попутное. При использовании фронтального забоя скорость подвигания фронта работ увеличивается, но при этом уменьшается производительность экскаваторов из-за необходимости их частого перемещения.

Начало работ на нижнем горизонте необходимо начинать после проведения очистных работ на транспортной берме от кусков горной породы, попавших туда после взрыва.

Достаточно эффективно использовать подобную технологическую схему на ВНБ с чередующимися предохранительными бермами и уменьшенными рабочими площадками. Угол откоса такого борта будет выше, чем угол борта, на котором оставляются только уменьшенные рабочие площадки и может достигать 30-40°.

Гидравлические экскаваторы, имеющие в качестве рабочего органа обратную лопату, имеют ряд существенных преимуществ, которые отсутствуют у прямых мехлопат. Главным преимуществом является возможность осуществлять как верхнее, так и нижнее черпанье. Погрузку горной массы можно производить на уровне стояния экскаватора, выше него или ниже уровня стояния.

Гидравлический экскаватор с обратной лопатой и автосамосвал, в который осуществляется погрузка горной массы, можно устанавливать на разных горизонтах. На рисунке 3.4 представлен способ расконсервации временно

нерабочего борта гидравлическими экскаваторами с обратной лопатой и погрузкой в автосамосвалы, находящиеся ниже уровня стояния экскаватора.

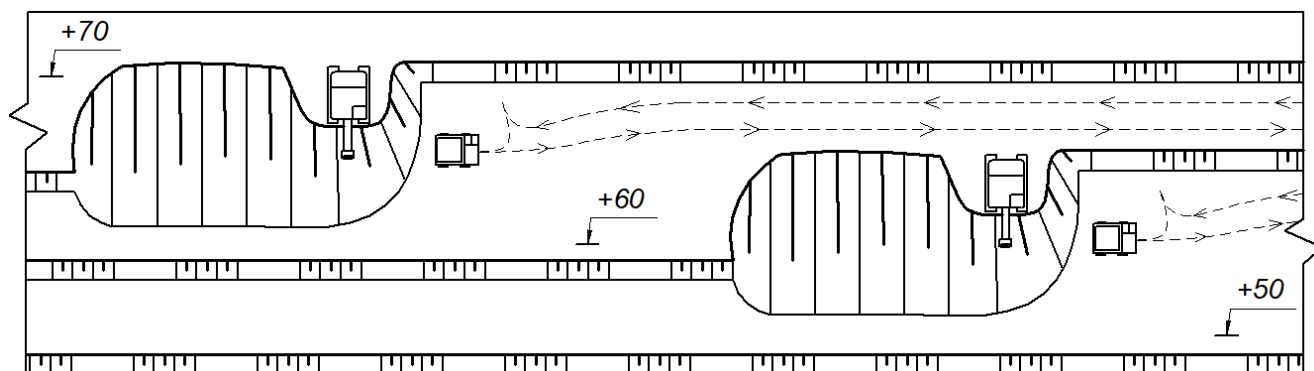


Рисунок 3.4 – Технологическая схема 3. Расконсервация ВНБ гидравлическими экскаваторами, оборудованными обратной лопатой, с погрузкой в автосамосвал ниже уровня стояния экскаватора

Отличительная черта от схемы 2 (рисунок 3.3): способ погрузки автосамосвала. Экскаватор устанавливается на кровле взрыва на горизонте + 70 м, автосамосвал устанавливается под погрузку у основания взрыва на горизонте + 60 м.

Взорванная горная масса извлекается фронтальным забоем нижним черпанием с нижней погрузкой в автосамосвал. Используется двусторонняя схема движения автосамосвалов, разворот тупиковый, погрузка осуществляется с задней части кузова. Направление движения порожнего транспорта относительно экскаватора – попутное.

Данная схема позволяет существенно сократить ширину рабочих площадок, поскольку отсутствует необходимость совмещения работ выемочно-погрузочной техники и автотранспорта на одном горизонте.

Использование такого способа расконсервации рационально на ВНБ с достаточно большим углом наклона и очень узкими площадками, на которых затруднительно одновременное размещение экскаватора и автосамосвала.

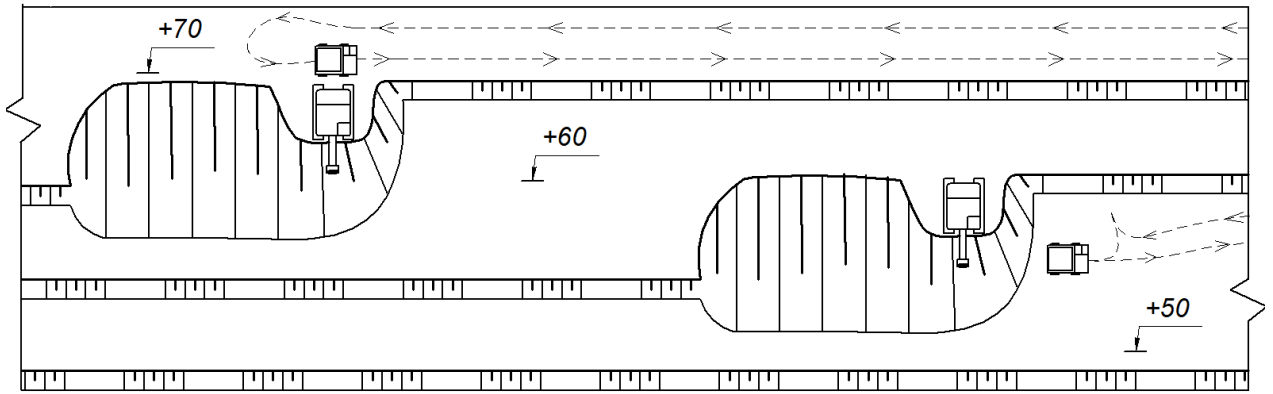


Рисунок 3.5 – Технологическая схема 4. Расконсервация ВНБ гидравлическими экскаваторами, оборудованными обратной лопатой, с чередованием нижней погрузки и погрузкой на уровне стояния экскаватора

Возможна реализация схемы с совмещением на борту нижней и верхней погрузки. На рисунке 3.5 представлена технологическая схема расконсервации временно нерабочего борта с применением гидравлических экскаваторов, оборудованных обратной лопатой. Технологическая схема является комбинацией схем 2 и 3. На горизонте + 70 м устанавливается экскаватор, который работает фронтальным забоем нижним черпанием с погрузкой на горизонте установки в автосамосвал. На горизонте используется двусторонняя встречная схема движения автосамосвалов, разворот петлевой, погрузка осуществляется с бокового бока автосамосвала. Направление движения порожнего транспорта относительно экскаватора – попутное.

После отработки первого экскаваторного блока и проведения всех очистных и буровзрывных работ начинаются мероприятия по разносу борта на горизонте + 60 м. Экскаватор устанавливается на шапку взрыва, автосамосвал устанавливается под погрузку у основания взрыва на горизонте + 50 м. На горизонте используется двусторонняя встречная схема движения автосамосвалов, разворот тупиковый, погрузка осуществляется с задней части кузова.

Тип заходки – продольный, с нижним черпанием и нижней погрузкой. Направление движения порожнего транспорта относительно экскаватора – встречное.



Механизация горных работ таким методом рациональна на временно нерабочем борту со сложными горнотехническими условиями, узкими площадками и в условиях ограниченной мобильности оборудования.

Расконсервация временно нерабочего борта может осуществляться с применением гидравлических экскаваторов разного типа, применяется комбинация прямых и обратных лопат на уступах. На рисунке 3.6 представлен один из вариантов реализации такой технологической схемы.

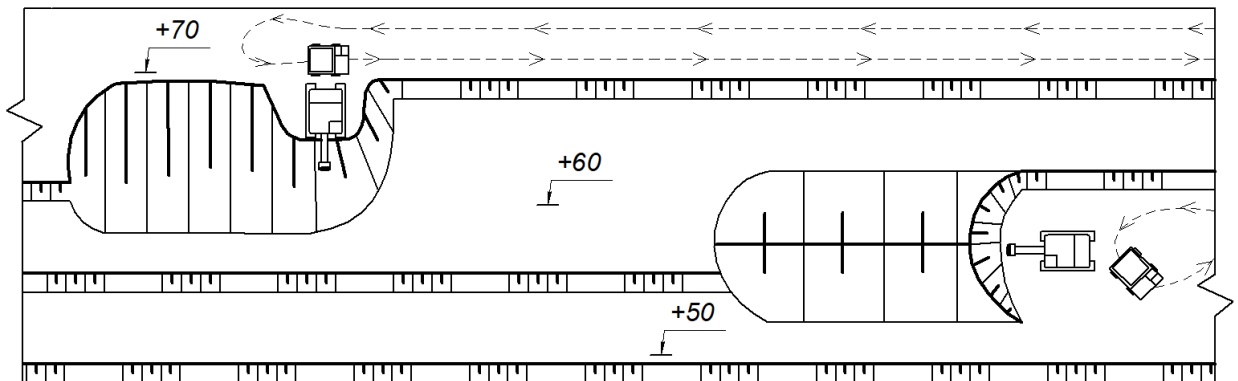


Рисунок 3.6 – Технологическая схема 5. Расконсервация ВНБ с чередованием на горизонтах гидравлических экскаваторов, оборудованных прямой и обратной лопатой

Для увеличения скорости отработки уступов предлагается использовать гидравлические экскаваторы с обратной лопатой совместно с прямой лопатой. Работы начинаются на горизонте + 70 м, экскаватор устанавливается на шапке взрыва, выемка взорванной массы осуществляется фронтальным забоем нижним черпанием с погрузкой на горизонте установки в автосамосвал. На уступе используется двусторонняя встречная схема движения автосамосвалов, разворот петлевой, погрузка осуществляется с боковой части кузова. Направление движения порожнего транспорта относительно экскаватора – попутное.

После того, как верхний уступ будет отработан на горизонте + 60 м, проводят буровзрывные работы. Выемка взорванной горной массы осуществляется экскаватором, оборудованным прямой лопатой. Гидравлический экскаватор работает сквозной узкой заходкой верхним черпанием с нижней погрузкой в автосамосвал. Схема движения автосамосвалов характеризуется наличием

встречного движения, петлевой схемой разворота и попутным направлением порожнего транспорта и экскаватора.

Выбор наиболее эффективной технологической схемы зависит от конструкции временно нерабочего борта, типа и размера горного оборудования.

Для безопасной и эффективной работы всех предлагаемых технологических схем необходимо, чтобы соблюдались требуемые технологические параметры и показатели такие, как ширина рабочих площадок и предохранительных берм, наличие сдвоенных уступов и их высота, расстояние между экскаваторами при их парной установке. Использование той или иной схемы определяется минимальной длиной фронта горных работ на разносимых уступах.

Временно нерабочий борт может обрабатываться как поуступно, так и группами уступов. При групповой обработке уступы в одной группе обрабатываются последовательно сверху вниз. Такой вариант обработки позволяет обеспечить концентрацию горного оборудования и поддерживать требуемую скорость разноса борта.

### **3.2 Выбор и определение оптимальных параметров горнотранспортного оборудования при расконсервации временно нерабочего борта карьера**

Рассмотренные технологические схемы расконсервации ВНБ отличаются рядом параметров, однако стоит отдельно выделить размеры оставляемых рабочих площадок уменьшенной ширины и размеры берм безопасности. От величины этих значений, а также от количества и порядка размещения площадок зависит результирующий угол временно нерабочего борта. Принятая технологическая схема расконсервации также определяет размер рабочих площадок, которые зависят от ширины взрывного блока, ширины развала взорванной горной массы и ширины заходки экскаватора.

Для определения размеров рабочих площадок рассматриваемых технологических схем необходимо принять во внимание такие факторы как: ограничение транспортного доступа в забой, длину фронта горных работ, а также

учесть возможность ведения буровзрывных работ одновременно на смежных горизонтах карьера.

Ширина оставляемых берм должна отвечать требованиям безопасной работы и должна быть достаточной для работы горнотранспортного оборудования на уступе. На рисунке 3.7 представлена схема конструкции временно нерабочего борта с оставлением рабочих площадок минимального размера через один горизонт. Между уступами одной группы горизонтов сформирована предохранительная берма.

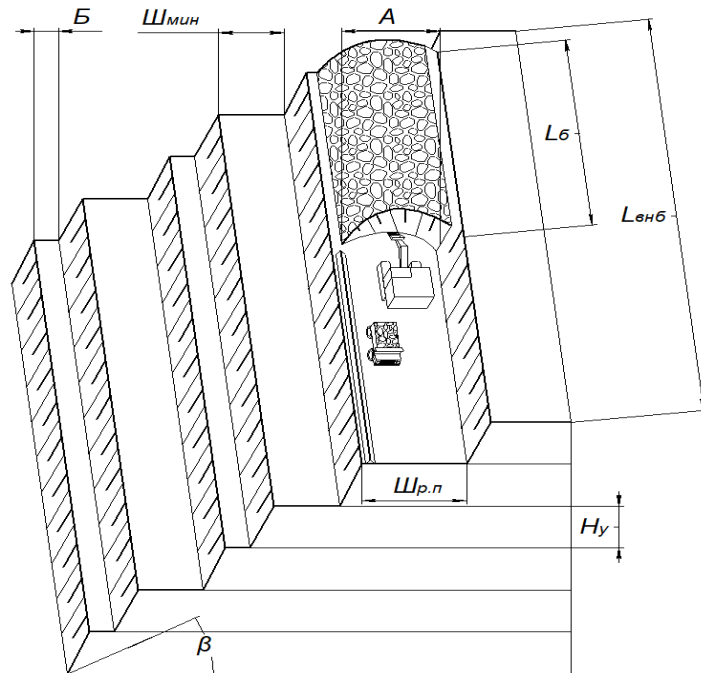


Рисунок 3.7 – Технологическая схема реализации расконсервации ВНБ группами смежных уступов отдельным экскаваторно-автомобильным комплексом

$H_у$  – высота уступа, м;  $B$  – ширина предохранительной бермы, м;  $Ш_{мин}$  – минимальная ширина рабочей площадки, м;  $Ш_{р.п}$  – ширина рабочей площадки, м;  $L_б$  – длин экскаваторного блока, м;  $L_{внб}$  – длина ВНБ, м;  $\beta$  – угол откоса ВНБ, град.

Рассматривая технологические схемы с применением гидравлических экскаваторов (рисунки 3.2-3.6) необходимо учитывать технические характеристики комплексов оборудования, которые планируется задействовать в процессе расконсервации ВНБ. В качестве средств механизации принят ряд современных гидравлических экскаваторов, работающих в паре с автосамосвалами. При выборе конкретных моделей экскаваторов основным критерием являлся радиус черпанья

экскаватора. От этого параметра будет зависеть ширина заходки и ширина минимальной рабочей площадки, а также высота уступа. Также, в зависимости от объема ковша экскаватора выбирается автосамосвал, габаритная ширина которого влияет на ширину транспортных берм временно нерабочего борта.

Принятые в дальнейших расчетах комплексы отличаются между собой размерами рабочего оборудования, выбор типа и размера экскаватора осуществляется в зависимости от конкретной задачи и условий работы на карьере. Для определения глубины черпания экскаватора на карьерах необходимо учитывать тип лопаты экскаватора и её размеры, так как это напрямую влияет на производительность и качество работы. Например, экскаваторы большей мощности могут выдерживать больший вес и справляться с более жестким грунтом, но они могут быть менее удобными при работе в тесных условиях. Глубина черпания экскаватора зависит, в том числе от объема работ и типа грунта на карьере.

Варианты парка оборудования для работ на временно нерабочем борту представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. – Принятое рабочее оборудование для расчета параметров технологических схем

№	Экскаватор прямая лопата/ обратная лопата	Объем ковша, м <sup>3</sup>	Радиус черпанья, м	Высота черпанья, м	Глубина черпанья, м	Авто- самосвал	Объем кузова, м <sup>3</sup>	Габарит- ная ширина, м
1	НИТАСН ZAXIS 850	3,6	10	10,8	5	БЕЛАЗ 7540А	12	2,8
	Komatsu PC500LC- 10M0	2,5	11,7	10,2	7,1			
2	НИТАСН ZAXIS 850	3,6	10	10,8	5	САТ 771D	20,2	3,7
	НИТАСН ZAXIS 870H	4	10	13	7,8			
3	Komatsu PC800-8E0	4,5	10	10,8	3,6	НИТАС НН ЕН 1000	25	4,8
	Komatsu PC800-8E0	5	12,2	12	9,6			

## Продолжение таблицы 3.1

№	Экскаватор прямая лопата/ обратная лопата	Объем ковша, м <sup>3</sup>	Радиус черпанья, м	Высота черпанья, м	Глубина черпанья, м	Авто- самосвал	Объем кузова, м <sup>3</sup>	Габарит- ная ширина, м
4	Caterpillar 6015	6	11	11	2,2	CAT 775D	31,4	4
	Caterpillar 6015 FS	6	13,5	13	7,3			
5	Komatsu PC1250- 11R	6,5	11,4	12,3	3,7	CAT 775D	31,4	4
	Komatsu PC1250- 11R	5,2	15,3	13,5	10,4			

Для каждого варианта парка оборудования и для каждой технологической схемы необходимо определить оптимальные параметры временно нерабочего борта.

Ширина нормальной экскаваторной заходки определяется по радиусу черпания (3.3) [43]:

$$A_3 = (1,5-1,7)R_{\text{ч}}, \quad (3.3)$$

где  $R_{\text{ч}}$  – радиус черпания экскаватора на уровне стояния, м.

В торцевом забое применяются узкие заходки, ширина которых определяется по формуле (3.4):

$$A_3 = (0,5-1,0)R_{\text{ч}}, \quad (3.4)$$

Ширина транспортной бермы (3.5):

$$B_{\text{т.б}} = P_n + P_k + b + P_e + P_o + P'_o + P'_{\text{б.н}}, \text{ м}, \quad (3.5)$$

где  $B_{\text{т.б}}$  – ширина транспортной бермы, м;

$P_n$  – ширина проезжей части, м;

$P_k$  – ширина кювета по верху, м;

$b$  – ширина полки за кюветом, м;

$P_e$  – ширина предохранительного вала из скального грунта, м;

$P_o$  – ширина обочины перед кюветом, м;

$P'_o$  – расстояние от проезжей части до ограждающего вала, м;

$P_{o.n}$  – ширина призмы обрушения, м;

Ширина проезжей части (3.6):

$$P_n = 2 * (a + y) + x, м \quad (3.6)$$

где  $a$  – ширина автосамосвала;

$y$  – ширина предохранительной полосы между автомобилем и краем проезжей части;

$x$  – безопасный зазор между встречными машинами.

Полученное значение округляется до значения ширины проезжей части в соответствии со СНиП: «Промышленный транспорт» [81].

В таблице 3.2 представлены размеры минимальной ширины заходки и транспортной бермы для каждого рассматриваемого комплекса оборудования.

Таблица 3.2. – Ширина заходки и транспортной бермы для комплексов рассматриваемого оборудования

№ комплекса оборудования	Тип экскаватора	Ширина экскаваторной заходки, м		Ширина транспортной бермы, м
		Нормальная	Узкая	
1	Прямая лопата	16	8	12
	Обратная лопата	19	9	
2	Прямая лопата	16	8	16
	Обратная лопата	16	8	
3	Прямая лопата	16	8	19
	Обратная лопата	20	10	
4	Прямая лопата	18	9	17
	Обратная лопата	22	11	
5	Прямая лопата	18	9	17
	Обратная лопата	25	12	

Чтобы гарантировать эффективную и безопасную работу горнотранспортного оборудования, необходимо соблюдать нормативную ширину рабочих площадок на рабочем борту карьера. Эта ширина зависит от размеров ее элементов. Для выполнения горных работ на нижележащих горизонтах необходимо достигнуть определенной ширины площадки на вышележащих уровнях.

Размеры рабочих площадок в проекте определяются расчетными значениями, которые учитывают интенсивность подвигания рабочих уступов и наличие запасов горной массы. Ширина площадок может варьироваться

в реальной практике в зависимости от технологических процессов и дискретности работы. Рассредоточение по длине скальных уступов также определяет минимально допустимую ширину площадок. Предельные значения ширины площадок рассчитываются с учетом принятых экскаваторов и автомобильного транспорта. Полученные значения ограничивают величину возможного сокращения площадок в процессе эксплуатации и могут быть использованы для оперативного управления горными работами. В рассматриваемых выражениях и схемах представлен необходимый набор элементов для определения предельных значений ширины рабочих площадок для каждого участка фронта в соответствии с принятой технологией ведения горных работ.

При необходимости увеличения производственной мощности карьера по горной массе можно увеличить рабочую зону и/или перейти на более производительное горнотранспортное оборудование. При этом размеры минимальной ширины рабочих площадок будут также изменяться в большую сторону. Ширина рабочей площадки должна гарантировать безопасность и эффективность работы экскаваторов и транспортных средств на уступе (3.7) (рисунок 3.8)

$$B_{min} = A_3 + X + C, \text{ м} \quad (3.7)$$

где  $X$  – ширина увеличения рабочей площадки после размещения на ней взорванной горной массы, м;

$C$  – безопасное расстояние от бровки уступа до развала породы, м.

Безопасное расстояние определяется из условия  $C \geq Z$ , где  $Z$  – расстояние возможного обрушения бровки уступа.

На рисунке 3.9 представлена конструкция уступа временно нерабочего борта с учетом развала взорванной горной массы.

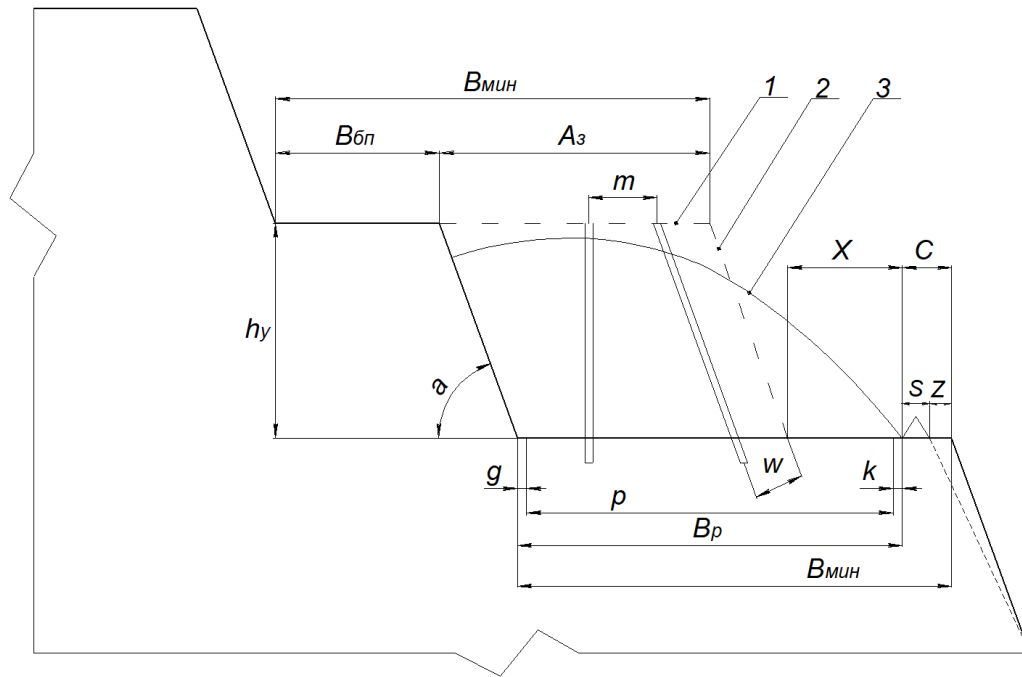


Рисунок 3.9 – Схема минимальной рабочей площадки временно нерабочего борта

1 – взрывная скважина; 2 – взрывной блок; 3 – развал взорванной горной массы.

Условные обозначения:  $C$  – безопасное расстояние от развала до бровки уступа, м;  $X$  – ширина увеличения рабочей площадки после размещения на ней взорванной горной массы, м;  $m$  – расстояние между скважинами, м;  $w$  – линия наименьшего сопротивления, м;  $s$  – ширина ориентирующего грунтового вала, м;  $k$  – расстояние от подошвы ориентирующего вала до кромки проезжей части автодороги, м;  $z$  – расстояние возможного обрушения уступа, м;  $g$  – расстояние между нижней бровкой уступа и транспортной бермой, м;  $p$  – ширина площадки для разворота автотранспорта, м;  $B_p$  – ширина развала взорванной горной массы, м;  $B_{бп}$  – ширина бермы безопасности, м;  $B_{мин}$  – минимальная ширина рабочей площадки, м;  $h_y$  – высота уступа, м;  $\alpha$  – угол откоса уступа, град.;  $A_з$  – ширина экскаваторного забоя, м.

Ширина развала взорванной горной массы (3.8) [24]:

$$B_p = k_3 k_v k_\beta \sqrt{q} h_y + (n - 1) m, \text{ м} \quad (3.8)$$

где  $k_3$  – время замедления взрыва, мс;

$k_v$  – коэффициент взрываемости породы;

$k_\beta$  – коэффициент, учитывающий угол наклона скважины;



$q$  – расчетный удельный расход взрывчатого вещества, кг/м<sup>3</sup>;

$n$  – количество рядов скважин, шт.;

$m$  – расстояние между скважинами, м.

При использовании технологических схем, на которых транспортные коммуникации находятся на вышележащем от развала горизонте, ширина площадки определяется суммой ширины развала и безопасного расстояния от его подошвы до бровки уступа (3.9):

$$B_{min} = B_p + C, \text{ м.} \quad (3.9)$$

В случае, если транспортный доступ организован на одном горизонте развалов взорванной горной массы, то минимальная ширина рабочей площадки должна быть не меньше, чем ширина развала взорванной горной массы и ширина транспортной бермы, в зависимости от того, какое из этих значений больше.

Расчет минимальной ширины рабочей площадки с учетом расположения на ней транспортной бермы и с учетом разворота транспорта в забое (3.10):

$$B_{min} = z + s + k + p + g, \text{ м.} \quad (3.10)$$

При расчете ширины рабочей площадки необходимо учитывать размер призмы обрушения. Призма обрушения уступа карьера – это расчетная величина, которая помогает определить зону потенциального обрушения уступа. Причиной обрушения могут быть различные факторы такие, как геометрические особенности уступа и геомеханические свойства пород. Для нахождения ширины призмы обрушения строится трехмерная модель уступа, которая позволяет определить максимальные углы наклона и глубину разработки, а также определить степень риска обрушения. Это позволяет предотвратить возможные аварии на карьере и обеспечить безопасность персонала. Ширина призмы обрушения  $z$  зависит от типа геомеханических характеристик пород, при проектировании принимается  $0,1-0,15 h_y$  [104].

Размеры ориентирующего породного вала  $s$  принимаются в соответствии с требованиями безопасности и зависят от размеров карьерного автотранспорта.

Высота и ширина предохранительного вала определяется как половина диаметра колеса автосамосвала, но должна быть не менее 0,5 м [81].

Расстояние от подошвы ориентирующего вала до кромки проезжей части автодороги  $k$  принимается согласно нормам проектирования автодорог [81] и равно 0,5 м.

Ширина площадки для разворота автотранспорта (3.11):

$$p = P_n + 1,5R_{p.п}, \text{ м}, \quad (3.11)$$

где  $R_{p.п}$  – радиус поворота по колею наружного переднего свеса автосамосвала, м;

$R_{p.п}$  определяется расстоянием от оси передней колесной пары автосамосвала до его выступающей части;

$P_n$  – ширина проезжей части, м.

Когда транспортная берма располагается на одном горизонте с развалом взорванной горной массы, то минимальную ширину рабочей площадки следует принимать по наибольшей из этих двух величин.

Для каждой предлагаемой технологической схемы (рисунок 3.10) определим параметры минимальной рабочей ширины площадки, размер которой будет зависеть от конструктивных особенностей забоя и расположения транспортной бермы. Размеры экскаваторного забоя, высоты уступа, а также ширины транспортной бермы зависят от габаритов горнотранспортного оборудования (таблица 3.2).

Рассматривая каждую из технологических схем, необходимо провести оценку эффективности применения того или иного технологического комплекса оборудования.

При оценке различных вариантов экскаваторно-автомобильных комплексов в первую очередь необходимо учитывать, что параметры рабочей зоны будут ограничиваться параметрами оборудования. Так, высота уступа рудного месторождения, на котором применяются взрывные работы, может быть больше в полтора раза высоты черпанья экскаватора [90]. Однако, данное условие

справедливо при наличии взорванной горной массы с высокой степенью дробления, с разделением уступа на подступы или проведением специальных мероприятий по обрушению козырьков. Во время расконсервации ВНБ выполнение таких мероприятий затруднительно в силу работы в стесненных условиях, особенностей принятой технологической схемы и недостаточной степени дробления взорванной горной массы. Таким образом, предлагается ограничивать высоту уступа высотой черпанья экскаватора или глубиной черпанья для схем с гидравлическими экскаваторами, оборудованными обратной лопатой.

Для оценки предлагаемых технологических схем необходимо провести расчет основных параметров временно нерабочего борта. Примем следующие значения для расчета технологических схем: высота ВНБ – 100 м; длина ВНБ – 500 м; ширина нормальной рабочей площадки – 50 м; ширина бермы безопасности – 10 м; число уступов, через которые оставляются уменьшенные рабочие площадки – 2 шт.

Расчет технологических схем производится по каждому из принятых вариантов комплексов оборудования (таблица 3.1). В зависимости от типа экскаватора варьируется высота уступа, ширина развала и, как следствие, минимальная ширина оставляемых площадок. Это влияет на параметры ВНБ, его угол откоса и объемы консервируемой горной породы.

Вертикальная скорость расконсервации временно нерабочего борта зависит от применяемого выемочно-погрузочного оборудования (3.12) [58]:

$$v_p = \frac{QN}{L_{\text{фр}} h_y (ctgf - ctg\beta)}, \quad (3.12)$$

где  $L_{\text{фр}}$  – длина фронта горных работ на ВНБ, м;

$Q$  – производительность экскаватора, м<sup>3</sup>/год;

$N$  – количество экскаваторов, работающих одновременно на одном горизонте, шт.;

$\beta$  – угол временно нерабочего борта, град.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.3.

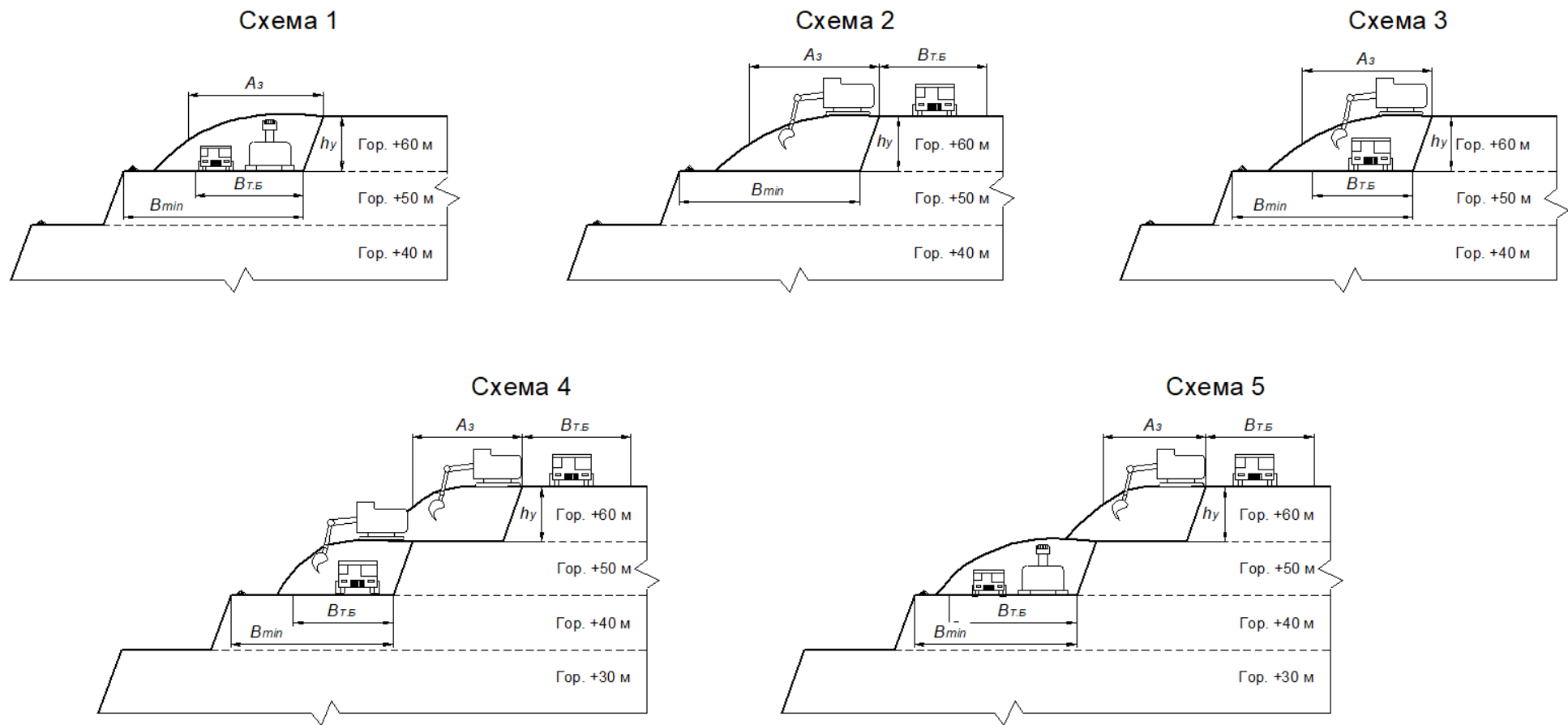


Рисунок 3.10 – Технологические схемы формирования рабочего борта карьера при расконсервации ВНБ

Таблица 3.3. – Результаты расчетов параметров технологических схем расконсервации ВНБ

№ комплекса оборудования	Высота уступа, м	Ширина забоя, м	Ширина развала, м	Минимальная ширина площадки, м	Угол ВНБ, град	Угол рабочего борта, град	Консервируемый объем породы в ВНБ, м <sup>3</sup>	Скорость понижения горных работ на ВНБ, м/год
Технологическая схема расконсервации временно нерабочего борта №1								
1	10	16	21	23	29	11	8877812	68
2	10	16	21	24	29	11	8844479	68
3	11	16	24	26	30	12	7855085	87
4	11	18	24	26	30	12	7855085	116
5	12	18	26	29	30	12	7044479	128
Технологическая схема расконсервации временно нерабочего борта №2								
1	8	17	17	17	28	9	11752812	33
2	8	16	17	17	28	9	11752812	52
3	10	20	21	21	30	11	9044479	68
4	8	17	17	17	28	9	11752812	79
5	10	21	21	21	30	11	9044479	71
Технологическая схема расконсервации временно нерабочего борта №3								
1	8	17	17	19	27	9	11544479	33
2	8	16	17	20	26	9	11502812	54
3	10	20	21	24	29	11	8827812	70
4	8	17	17	20	26	9	11481979	81
5	10	21	21	24	29	11	8827812	73
Технологическая схема расконсервации временно нерабочего борта №4								
1	8	17	17	18	27	9	11648646	45
2	8	16	17	18	27	9	11627812	72
3	10	20	21	23	29	11	8936146	93
4	8	17	17	18	27	9	11617396	108
5	10	21	21	23	29	11	8936146	97
Технологическая схема расконсервации временно нерабочего борта №5								
1	10/8	16/17	21/17	23/17	28	10	10315312	50
2	10/8	16/16	21/17	24/17	28	10	10298646	60
3	11/10	16/20	24/21	26/21	30	11	8449782	77
4	11/8	18/17	24/17	26/17	29	10	9803949	97
5	12/10	18/21	26/21	29/21	30	12	8044479	100

При расположении транспортной бермы и развала взорванной горной массы на одном горизонте минимальная ширина рабочей площадки будет зависеть как от ширины транспортной бермы, так и от ширины развала. Размер оставляемых площадок принимается по наибольшему из этих значений. Такой подход представлен на схемах 1 и 3. На схемах 4 и 5 ширина рабочей площадки нижнего горизонта также определяется по наибольшему значению ширины транспортной бермы или развала взрыва (рисунок 3.10).

В тех случаях, когда ширина транспортной бермы меньше ширины развала, но при этом они находятся на одном горизонте, необходимо принимать минимальную ширину рабочей площадки больше ширины развала на несколько метров. Это расстояние необходимо для размещения предохранительного вала вдоль призмы обрушения уступа. Таким образом, транспортная берма любого размера приводит к увеличению ширины оставляемых площадок.

В технологических схемах 2, 4 и 5 (рисунок 3.10) используются гидравлические экскаваторы с обратной лопатой, выемка производится нижним черпаньем с погрузкой в автосамосвалы на уровне стояния экскаватора. На уступе, где располагается взорванная масса, транспортная берма формируется после разноса горизонта. Таким образом, ширина оставляемой на ВНБ минимальной рабочей площадки определяется только шириной развала.

На рисунке 3.11 представлено сравнение объемов консервируемой породы для каждой из рассмотренных ранее технологических схем.

Таким образом, наибольшие объемы консервации породы достигаются при использовании технологической схемы с гидравлическим экскаватором, оборудованным обратной лопатой с нижним черпаньем и верхней погрузкой в автосамосвал на уровне стояния экскаватора (схема 2). При сравнении с классической поуступной схемой расконсервации экскаватором с прямой лопатой (схема 1) объем консервации увеличивается в среднем на 30%.



Рисунок 3.11 – Диаграмма консервируемых объемов породы во временно нерабочем борте при использовании различных технологических схем

На рисунке 3.12 представлен график средней вертикальной скорости расконсервации ВНБ для рассмотренных технологических схем с учетом выбранных комплексов оборудования.



Рисунок 3.12 – Диаграмма вертикальных скоростей расконсервации временно нерабочего борта при использовании различных технологических схем

Скорость расконсервации ВНБ с применением экскаватора, оборудованного обратной лопатой (схема 2 и схема 3), меньше на 34% по сравнению с аналогичной схемой, где используется экскаватор, оборудованный прямой лопатой (схема 1).

Для получения оптимального календарного графика необходим баланс между объемами консервации и скоростью расконсервации ВНБ. Использование

комбинированных технологических схем расконсервации с применением гидравлических экскаваторов с прямой и обратной лопатой и чередованием их на горизонтах, схема 4 и схема 5 (рисунок 3.10), является одним из способов регулирования календарного графика.

### **3.3 Технология ведения буровзрывных работ при расконсервации временно нерабочих бортов**

На карьерах в подавляющем большинстве используется буровзрывной способ подготовки пород к выемке. Каждый отдельный карьер или даже разные участки одного месторождения имеют различные геологические условия, что существенно усложняет работу и делает невозможным применение унифицированных параметров БВР.

Качество взрывных работ определяет эффективность всех основных технологических процессов на карьере и влияет на скорость и производительность отработки месторождения. Поэтому необходимо выполнение ряда технических требований, предъявляемых к взрывным работам [74]:

- обеспечение необходимой степени дробления горной породы;
- обеспечение качества и сортности взрываемого полезного ископаемого, при необходимости, избирательное дробление породы с различными показателями трудности разрушения;
- формирование новой подошвы уступа на проектной отметке с минимальным отклонением;
- формирование нового уступа заданной формы и с заданным углом;
- развал взорванной горной массы должен располагаться таким образом, чтобы можно было организовать выемочно-погрузочные работы с последующим транспортированием горной массы;
- объемы взорванной породы должны обеспечивать бесперебойную работу по выемке и погрузке;



– соблюдение норм сейсмического воздействия и требований безопасности по разлету кусков породы.

Для успешного выполнения всех технических требований, предъявляемых к взрывным работам, необходимо правильно определить параметры БВР, порядок взрывания и способ организации буровзрывных работ для конкретных условий.

На глубоких рудных карьерах при ведении взрывных работ применяется метод скважинных зарядов. От выбора способа взрывания скважин зависит качество дробления и ширина развала взорванной горной массы. При расконсервации ВНБ ширина развала имеет ключевое значение, поскольку из-за уменьшенных площадок существует высокая вероятность перевалки породы на нижележащие горизонты.

Буровзрывные работы на каждом из уступов проводятся на отдельных блоках. Размеры взрывного блока зависят от размеров площадок, высоты уступа и протяженности расконсервируемого уступа.

Скважины на взрываемом блоке могут быть расположены однорядно или многорядно. Параметрами группы скважинных зарядов, расположенных в один ряд, являются: расстояние между отдельными скважинами и количество скважин в ряду. При многорядном способе также необходимо учитывать расстояние между рядами скважин и количество рядов.

Выбор однорядного или многорядного способа расположения скважин на блоке зависит от технологических ограничений и от принятого порядка инициирования скважинных зарядов. Заряды могут быть взорваны как одновременно, так и с замедлением. Замедление определяется временными интервалами между взрывами отдельных скважин или группами скважин и называется короткозамедленным взрыванием.

Во время взрыва группы зарядов при короткозамедленном взрывании часть горного массива оказывается в сжатой среде. После этого, процессы волнового сжатия переходят в волновое растяжение. Это позволяет улучшить качество дробления при увеличении расхода взрывчатого материала.

Поскольку при расконсервации временно нерабочих бортов работы ведутся на узких рабочих площадках, буровзрывные работы осложняются стесненными условиями.

Основные технологические задачи, возникающие при работе на ВНБ: обеспечение необходимой степени рыхления взорванных горных пород, обеспечение транспортного доступа к развалу взорванной горной массы, выполнение условий безопасной работы, а также контроль ширины развала.

На действующих карьерах существует проблема перевалки взорванной массы на нижние горизонты, что существенно нарушает ход ведения горных работ [4]. Одним из способов решения этой проблемы является метод многорядного короткозамедленного взрывания в зажатой среде с подпорной стенкой из неубранной взорванной породы (рисунок 3.13). Такой метод взрывания минимизирует разлет кусков породы с откоса уступа и уменьшает общую ширину развала. Также, для контроля ширины и высоты развала можно варьировать высоту зарядания скважины и угол ее наклона.

На рисунке 3.13 представлены технологические схемы ведения буровзрывных работ при расконсервации ВНБ. На схемах 1-4 взрывные работы ведутся с применением однорядного взрывания [74].

Существуют разные варианты контроля степени дробления и ширины и высоты развала при однорядном взрывании. Так, на схеме 1 изображена классическая конструкция скважины с нормальным уровнем заряда, скважины располагаются вертикально. Если скважины пробурить под углом откоса уступа (схема 2), то можно добиться улучшения качества дробления, степени проработки подошвы уступа и сократить число заколов за линию скважин. При этом высота развала уменьшается, а его ширина увеличивается.

Уровень забойки оказывает прямое влияние на степень разлета кусков породы, ширину и высоту развала взорванной горной массы. На схеме 3 представлен вариант с минимальным уровнем забойки и максимальным уровнем взрывчатого вещества. Подобную схему достаточно трудно реализовывать

при расконсервации ВНБ, поскольку существуют риски перевалки породы на нижележащие горизонты.

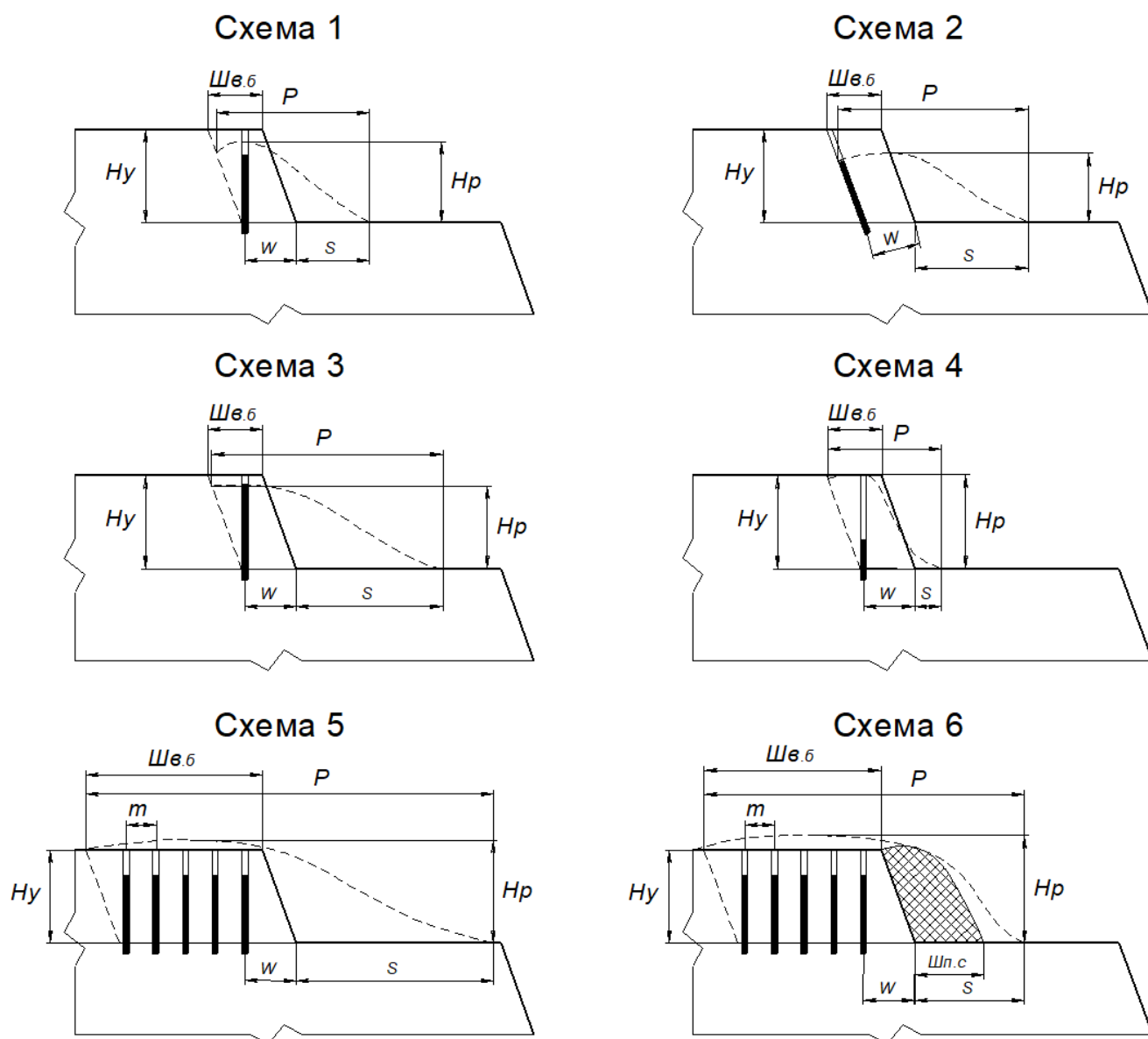


Рисунок 3.13 – Схема профиля развала взорванной горной массы при различных способах взрывания

На схеме 4 изображена конструкция скважинных зарядов с увеличенным уровнем забойки и, соответственно, уменьшенным уровнем заряда. Такой вариант заряжания позволяет уменьшить разлет породы и ширину развала до минимальных значений, вместе с этим увеличивается коэффициент использования энергии взрывчатого вещества при дроблении породы.

Однако из-за уменьшения объема заряда взрывчатого вещества сложнее поддерживать требуемую степень дробления. Для этого необходимо увеличивать

количество скважин путем уменьшения расстояния между ними в ряду [46].

Применение многорядного короткозамедленного взрывания может осуществляться как на расчищенный фронт работ (схема 5), так и с применением подпорной стенки (схема 6), которая формируется из ранее взорванной горной породы.

Главным преимуществом многорядного взрывания без подпорной стенки с порядным инициированием зарядов является улучшение качества дробления горной массы. Однако, такой метод ведения взрывных работ приводит к увеличению развала взорванной горной массы и к существенному нарушению первоначальных параметров залегания руд. Это происходит из-за сильного разрыхления взорванной горной массы, тем самым увеличивается степень разубоживания руды. Степень разрыхления изменяется по всей ширине взрываемого блока. Наибольшее её значение у первого ряда скважин, далее оно постепенно уменьшается с каждым последующим рядом. В случае, если во временно нерабочем борту имеются отдельные рудные залежи и когда возможна техническая реализация разновременного или селективного взрывания породы, то целесообразно использовать метод отдельного взрывания.

На схеме 6 изображен метод ведения взрывных работ с применением подпорной стенки, позволяющий сохранить первоначальное качество рудного массива из-за существенно меньшей степени разрыхления взорванных горных пород. Наименьшая степень разрыхления происходит в нижней части развала и постепенно увеличивается к верхней части развала взорванной горной массы. Проведение буровзрывных работ предусматривает применение коммутационных схем взрывания с продольным врубом.

К достоинствам такого метода взрывания можно также отнести уменьшение ширины развала. Однако в условиях работы на узких рабочих площадках появляется задача формирования подпорной стенки. Горизонтальная мощность подпорной стенки должна составлять от 1 до 1,5 высоты уступа. Другими отрицательными факторами этой технологии являются увеличивающаяся продолжительность и энергоёмкость выемочно-погрузочных работ, увеличенный

расход ВВ.

Для выбора способа ведения буровзрывных работ необходимо оценить все основные параметры и определить наиболее оптимальный вариант, подходящий под конкретные горнотехнические и геологические условия.

Для исключения образования порогов у подошвы уступа необходимо, чтобы расстояние до первого ряда скважин не превышало расчетную величину линии наименьшего сопротивления по подошве  $W$  (ЛСПП) (3.13) [82]:

$$W = \frac{\sqrt{0,25p^2 + 4pqH_yL_{\text{СКВ}}0,5q}}{2qH_y}, \quad (3.13)$$

где  $W$  – линия наименьшего сопротивления по подошве уступа, м;

$p$  – вместимость одного погонного метра скважины кг/м;

$q$  – удельный расход взрывчатого вещества кг/м<sup>3</sup>;

$H_y$  – высота уступа, м;

$L_{\text{СКВ}}$  – длина скважина, м.

Линия наименьшего сопротивления для наклонных скважин (3.14) [82]:

$$W = 0,9 \sqrt{\frac{p}{q} \frac{1}{\sin\beta}}, \quad (3.14)$$

где  $\beta$  – угол наклона скважины, град.

Расстояние между скважинами в одном ряду (3.15):

$$a = \frac{0,5W}{\sqrt[3]{d_{\text{СКВ}}}}, \quad (3.15)$$

где  $a$  – расстояние между скважинами в ряду, м;

$d_{\text{СКВ}}$  – диаметр скважины, м.

Для многорядных схем взрывания необходим расчет расстояния между скважинами  $m$ , при использовании короткозамедленного взрывания данное расстояние следует принимать (3.16) [85]57:

$$m = 0,85a, \quad (3.16)$$

где  $m$  – расстояние между рядами скважин, м.

Геометрические параметры развала, в первую очередь, зависят от геологического строения массива, размера зарядов, расположения их на блоке, а также порядка инициирования. В зависимости от принятой технологической схемы взрывания ширина развала определяется аналитически.

Для однорядных схем (рисунок 3.12 схемы 1-4) ширина развала (3.17) [74]:

$$P = K_B K_a \sqrt{q} H_y, \quad (3.17)$$

где  $P$  – ширина развала, м;

$K_B$  – коэффициент взрываемости пород;

$K_a$  – коэффициент угла наклона скважин.

Коэффициент, учитывающий угол наклона скважин (3.18):

$$K_a = 1 + 0,5 \sin 2\left(\frac{\pi}{2} - a\right), \quad (3.18)$$

где  $a$  – угол наклона скважины, град.

При применении многорядного взрывания без использования подпорной стенки ширина развала взорванной горной массы (3.19):

$$P_M = K_3 P + (n - 1)m, \quad (3.19)$$

где  $K_3$  – коэффициент выброса взорванной горной массы, зависящий от интервалов в замедления;

$n$  – количество рядов скважин, шт.;

$m$  – расстояние между скважинами в одном ряду, м.

При применении многорядного взрывания с использованием подпорной стенки ширина развала взорванной горной массы (3.20):

$$P_{M.п} = \left(1 - \frac{Ш_{п.с}}{K_p W + Ш_{п.с}}\right) P + (n - 1)m, \quad (3.20)$$

где  $P_{M.п}$  – ширина развала взорванной горной массы с использованием подпорной стенки, м;

$K_p$  – коэффициент разрыхления породы в подпорной стенке (1,05÷1,1);

$Ш_{п.с}$  – ширина подпорной стенки, м.

Высота развала взорванной горной массы равна 0,5-0,9 высоты уступа при однорядном способе взрывания и 0,9 при многорядном [84,85,86]465782.

Ширина подпорной стенки [89]39 (3.21):

$$Ш_{п.с} = \kappa_p W \left( \frac{\sqrt{2k_{ив}qeE}}{\sigma_{сж}} \right), \quad (3.21)$$

где  $k_{ив}$  – коэффициент, учитывающий использование энергии взрыва (0,04÷0,2);

$e$  – удельная теплота взрыва, Дж/кг;

$E$  – модуль упругости взрываеваемой породы, Па;

$\sigma_{сж}$  – предел прочности при одноосном сжатии, Па.

Когда расконсервацию временно нерабочего борта планируется проводить без перевалки взорванной горной массы на нижние горизонты, то необходим выбор метода взрывания с оптимальной шириной развала. Ширина площадок на нерабочем борту должна учитывать размещение на них взорванной массы и при этом должен обеспечиваться необходимый угол наклона ВНБ.

Минимальные размеры площадок временно нерабочего борта должны отвечать требованиям размещения на них развала взорванной горной массы без перевалки её на нижние горизонты. Для этого необходимо определить ширину развала взорванной горной массы, располагающейся в выработанном пространстве взрываеваемого горизонта, величина  $S$  (рисунок 3.13) (3.22):

$$S = P - Ш_{в.б}, \quad (3.22)$$

где  $S$  – ширина развала взорванной горной массы, располагающейся в выработанном пространстве взрываеваемого горизонта, м;

$Ш_{в.б}$  – ширина взрываеваемого блока, м.

Ширина взрываеваемого блока (3.23):

$$Ш_{в.б} = W + (n - 1) * t, \quad (3.23)$$

Минимальная ширина оставляемой площадки определяется с учетом размещения на ней развала горной массы и безопасного расстояния от бровки уступа до бровки отвала. При использовании схемы б (рисунок 3.12) минимальная ширина площадки определяется с учетом ширины размещения на ней подпорной стенки (3.24):

$$Ш_{min} = P + C + Ш_{п.с}, \quad (3.24)$$

где  $\Pi_{\min}$  – минимальная ширина площадки, необходимая для размещения на ней отвала взорванной горной массы, м;

$C$  – безопасное расстояние от бровки уступа до развала породы, м.

Максимальный угол откоса временно нерабочего борта, который возможно достичь при выбранном методе ведения взрывных работ (3.25) [11]:

$$\varphi = \arctg \frac{\sum h_y}{\Pi_{\text{ср}} + \sum h_y \text{ctg} \gamma}, \quad (3.25)$$

где  $\varphi$  – угол откоса борта карьера во время разноса ВНБ, град.;

$\sum h_y$  – совокупная высота всех уступов карьера, м;

$\Pi_{\text{ср}}$  – средняя ширина оставляемых на ВНБ берм, м;

$\gamma$  – угол откоса уступа, град.

Рассмотрим применение предлагаемой методики на примере расчета параметров технологических схем ведения буровзрывных работ при расконсервации ВНБ меднорудного карьера, где  $H_{\text{ВНБ}} = 100$  м;  $H_y = 10$  м;  $\gamma = 70^\circ$ ;  $d_{\text{скв}} = 0,23$  м;  $\Pi_{\text{п.с}} = 20$  м; в качестве средства взрывания используется эмульсионное взрывчатое вещество АС-25П; вмещающие породы II группы крепости по шкале профессора М.М. Протоdjяконова; ширина предохранительных берм 5 м, конструкция ВНБ предполагает чередование рабочих площадок минимальной ширины с предохранительными бермами через один уступ.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. – Результаты расчета параметров однорядных технологических схем ведения буровзрывных работ

№ схем ы	ЛСПП , м	Расстояния между скважинами, м	Ширина развала, м	Ширина взрываемого блока, м	Ширина развала в выработанном пространстве взрываемого горизонта, м	Минимальная ширина площадки, м	Угол откоса ВНБ, град
1	5	4	27	5	5	24	29
2	6	5	35	6	8	32	24
3	6	5	33	6	6	29	25
4	4	3	19	4	4	18	35

В зависимости от принятого метода ведения взрывных работ, при прочих равных условиях, расчетные параметры взрыва существенно отличаются.



Наименьшую ширину развала удастся достичь при уменьшении заряда в скважине (схема 4), однако у такого способа существует существенный недостаток. Взрывание производится на сотрясение массива, и вся взорванная горная порода остается связно-сыпучей, что может осложнить выемочно-погрузочные работы. Такой способ расконсервации возможно использовать на крутых бортах с узкими площадками с шириной, близкой к ширине бермы безопасности.

Сравнивая различные варианты конструкций заряда и угла наклона скважин при однорядном взрывании, можно выделить вариант с вертикальными скважинами и нормальным уровнем заряда (схема 1). Данная схема наиболее часто используется на карьерах, поскольку параметры взрыва имеют оптимальные значения, а размещение развала возможно на достаточно узких площадках.

Увеличение веса заряда в скважине (схема 3) ведет к увеличению размеров развала примерно на 20% в сравнении со скважинами с нормальным уровнем заряда, а также увеличивается радиус разлета кусков породы, но при этом увеличивается степень дробления горной породы.

Использование наклонных скважин (схема 2) при расконсервации временно нерабочего борта малоэффективно, поскольку развал имеет достаточно большую ширину и может существенно превышать размеры развала при других схемах взрывания.

Когда сформированный временно нерабочий борт сравнительно пологий или на нем присутствуют горизонты с достаточно широкой рабочей площадкой возможно применение многорядных короткозамедленных схем взрывания.

В таблице 3.5 представлены результаты расчета параметров многорядных технологических схем ведения буровзрывных работ.

Ширина взрываемого блока при многорядном взрывании и ширина развала напрямую зависят от количества рядов скважин. При увеличении количества рядов на один минимальная ширина рабочей площадки увеличивается на 10%, а угол откоса ВНБ уменьшается на 2°.

Таблица 3.5. – Результаты расчета параметров многорядных технологических схем ведения буровзрывных работ

№ схемы	Кол-во рядов, шт.	ЛСПП, м	Расстояние между скважинами, м	Ширина развала, м	Ширина взрывае-мого блока, м	Ширина развала в выработанном пространстве взрывае-мого горизонта, м	Минимальная ширина площадки, м	Угол откоса ВНБ, град.
5	2	5	4	25	9	7	27	27
	3			28	12	10	31	22
	4			32	16	14	34	19
	5			35	19	17	38	17
6	2	5	4	9	9	9	32	17
	3			13	12	12	35	15
	4			16	16	16	39	14
	5			20	19	19	42	13

В некоторых случаях, когда временно нерабочий борт имеет достаточно пологий угол откоса, возможно применение многорядного взрывания с подпорной стенкой (схема б). Однако, из-за существенного размера взрывае-мого блока и необходимости размещения насыпи, угол откоса ВНБ, даже при двух рядах скважин, будет достаточно небольшой.

При выборе параметров буровзрывных работ необходимо производить их в максимальном соответствии со взрывае-мостью пород конкретного блока (участка). Также, при выполнении буровзрывных работ дополнительно к типовому проекту на массовый взрыв следует придерживаться следующих требований:

- бурение производить на режимах, обеспечивающих представительный выход бурового шлама с каждого интервала опробования;
- применять схемы коммутации взрывной сети, учитывающие пространственное расположение рудных тел в блоке (их простирание) относительно обнаженной поверхности откоса уступа для сохранения наибольшей целостности структуры при обеспечении качества подготовки горной массы взрывом для последующей экскавации.

Таким образом, угол откоса временно нерабочего борта определен на примере борта с площадками минимальной ширины. Выбор размера площадки необходимо осуществлять из расчета размещения на ней развала и нормальной работы используемого на расконсервации выемочно-погрузочного оборудования.

При сравнении ширины развала, ширины заходки и ширины транспортной бермы минимальная ширина площадки принимается как большее из этих значений.

Варианты технологических схем ведения взрывных работ на расконсервации временно нерабочего борта следует оценивать по ряду рассмотренных факторов. Выбор конкретной схемы зависит от горно-геологических характеристик, параметров ВНБ, условий безопасности и требований к степени дробления горного массива.

### **3.4 Алгоритм определения параметров формируемого ВНБ с целью обеспечения необходимых объемов консервации и темпов расконсервации**

В общем виде алгоритм выбора конструкции ВНБ и схемы расконсервации с учетом способа его формирования, объемов консервации и скорости расконсервации, типа и количества оборудования, а также способа ведения взрывных работ представлен на рисунке 3.14.

В большей степени алгоритм применим к планируемому временно нерабочему борту, однако он может быть использован при расконсервации сформированного ранее ВНБ с использованием имеющегося оборудования или расчета специализированного парка техники.

- Определить тип временно нерабочего борта: плановый или уже сформированный.
- Для планового временно нерабочего борта определить требуемые объемы и срок консервации исходя из плана горных работ, текущего коэффициента вскрыши, положения горных, технико-экономической оценки, положения дел на рынке минерального сырья.

## Алгоритм оптимизации баланса консервируемых объемов пород и скорости расконсервации

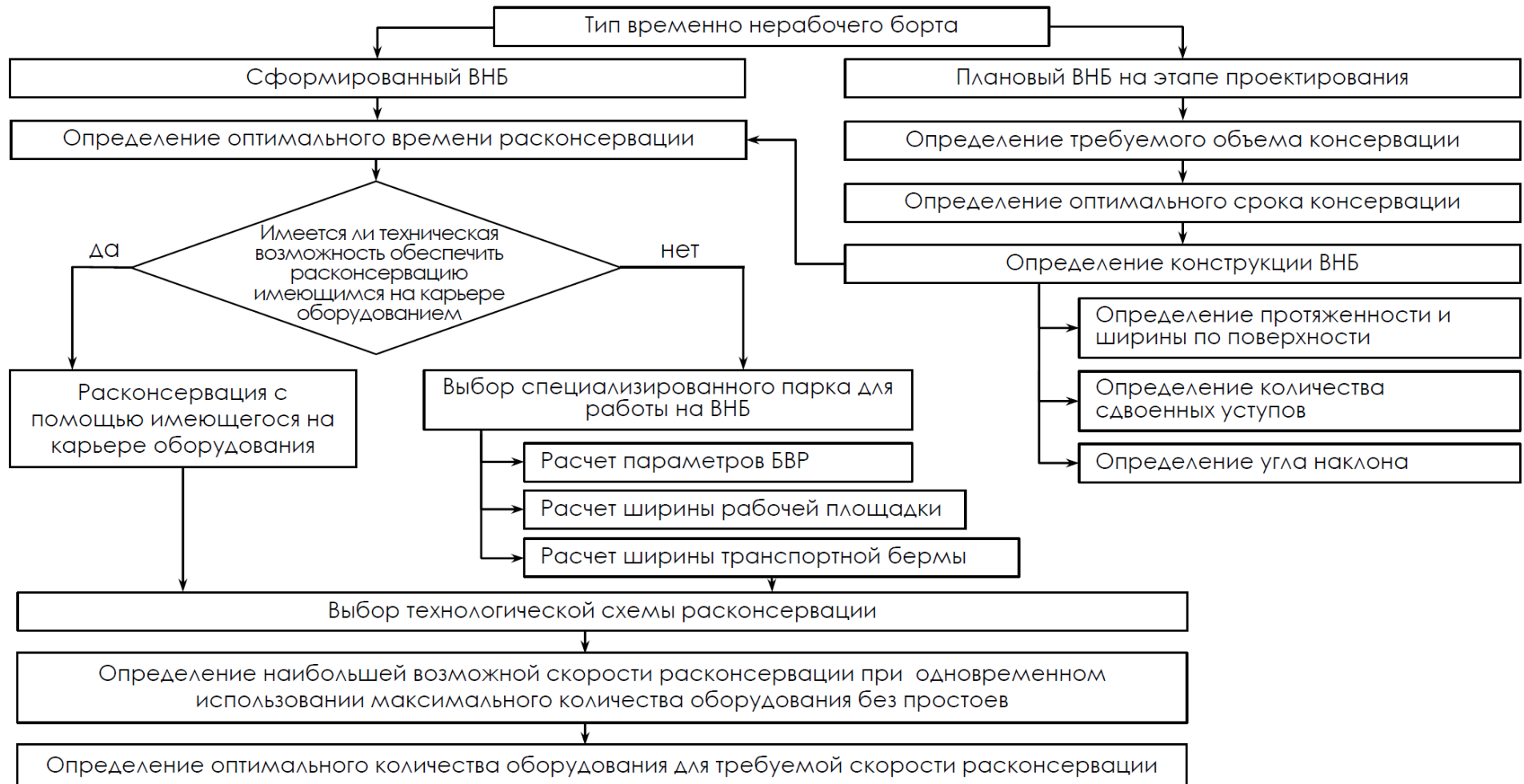


Рисунок 3.14 – Алгоритм оптимизации баланса консервируемых объемов пород и скорости расконсервации

- Определить местоположение в карьерном поле, протяженность, высоту, количество сдвоенных уступов и минимальные размеры оставляемых площадок на ВНБ для построения необходимого угла наклона планируемого временно нерабочего борта, обеспечивающего требуемые объемы консервации.
- Определить время расконсервации временно нерабочего борта и соответствующую необходимую скорость формирования рабочего борта.
- Учитывая необходимый объем горных работ на площадках ВНБ уменьшенного размера и требуемую скорость расконсервации, определить возможно ли задействовать имеющееся на карьере горнотранспортное оборудование с технической и экономической точек зрения.
- При невозможности использовать имеющееся оборудование для расконсервации ВНБ выбрать специализированный парк техники, способный эффективно работать в осложненных условиях уменьшенных площадок временно нерабочего борта.
- Для каждого вида рассматриваемого оборудования определить рабочие параметры и требуемые минимальные размеры площадок с учетом обеспечения необходимых объемов консервации.
- Для рассматриваемых вариантов горнотранспортного оборудования определить применимые варианты технологических схем.
- Для каждой технологической схемы, по предложенной методике, определить возможность обеспечения требуемой скорости расконсервации и необходимое количество оборудования.
- Сравнить все рассматриваемые варианты технологических схем и применяемого оборудования по критерию объема консервируемых пород и скорости расконсервации ВНБ.
- Выбрать технологическую схему с наиболее оптимальными параметрами.

### 3.5 Выводы по третьей главе

1. Доказано, что наибольшие объемы консервации горной породы достигаются при использовании технологической схемы с гидравлическим экскаватором, оборудованным обратной лопатой с нижним черпаньем и верхней погрузкой в автосамосвал на уровне стояния экскаватора. При сравнении с классической поуступной схемой расконсервации ВНБ экскаватором с прямой лопатой объем консервации увеличивается в среднем на 30%. Однако, скорость расконсервации ВНБ с использованием обратной лопаты ниже на 34% по сравнению с аналогичной схемой, использующей прямую лопату.

Таким образом, для получения оптимального календарного графика горных работ необходим баланс между объемами консервации и скоростью расконсервации ВНБ. Использование комбинированных технологических схем расконсервации с применением гидравлических экскаваторов с прямой и обратной лопатой и чередованием их на горизонтах является одним из способов регулирования календарного графика.

2. Установлено, что на выбор способа ведения буровзрывных работ существенное влияние оказывает ширина рабочей площадки, а выбор размера площадки необходимо осуществлять из расчета размещения на ней развала взорванной горной массы и нормальной работы используемого на расконсервации выемочно-погрузочного оборудования. При сравнении ширины развала, ширины заходки и ширины транспортной бермы минимальная ширина площадки принимается по наибольшему из этих значений.

3. Рациональность применения технологических схем ведения буровзрывных работ при различных параметрах временно нерабочего борта определена по ширине развала взорванной горной массы. Рассмотренные однорядные схемы представлены от меньшей ширины к большей: схема с вертикальными скважинами и уменьшенным объемом заряда; схема с нормальным уровнем заряда; схема с увеличенным уровнем заряда; схема с наклонными скважинами. Применение многорядных схем возможно на ВНБ с небольшим углом

откоса и достаточно широкими площадками. При увеличении количества рядов на один минимальная ширина рабочей площадки увеличивается на 10%, а угол откоса ВНБ уменьшается на 2°.

4. Разработан алгоритм выбора конструкции ВНБ и схемы расконсервации с учетом способа его формирования, объемов консервации и скорости расконсервации, типа и количества оборудования, а также способа ведения взрывных работ.

## ГЛАВА 4 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСЛОВИЙ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ РАСКОНСЕРВАЦИИ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧЕГО БОРТА

### 4.1 Оценка эффективности технологических решений для карьера АО «Михеевский ГОК»

#### *Общая информация о месторождении*

Михеевское месторождение медно-порфириновых руд обрабатывается открытым способом АО «Михеевский горно-обогатительный комбинат» (АО «Михеевский ГОК»). Месторождение располагается в Варненском муниципальном районе Челябинской области. Протяженность месторождения по простиранию 2900 м при ширине 200-500 м.

На месторождении выделяются три основных инженерно-геологических комплекса пород: рыхлые отложения, кора выветривания, комплекс скальных пород. Геологическое строение и характер расположения рудных зон позволили, основываясь на принятой классификации запасов рудных месторождений и прогнозируемых ресурсов полезных ископаемых, отнести месторождение ко 2 группе. На месторождении выделены следующие промышленно-технологические типы руд [2]:

- окисленные;
- рыхлые сульфидные;
- первичные (скальные) сульфидные.

Технические и экономические решения приняты с учетом особенностей горно-геологических условий и количества запасов медно-порфириновых руд Михеевского месторождения, включающего запасы Новониколаевского участка.

Отработка запасов медно-порфириновых руд Михеевского месторождения и Новониколаевского участка ведется без выделения очередей и этапов. Горные работы ведутся в северной части Главного карьера. Развитие карьера идет как в глубину, так и по простиранию залежи от севера к югу.



С 2019 года в отработку вовлекаются запасы Южного карьера, основной задачей которого является до 2024 года устранить дефицит площадей для размещения отвалов вскрышных пород. С 2025 года планируется начало отсыпки внутреннего отвала в выработанном пространстве Южного карьера. Полная засыпка Южного карьера планируется к 2030 году. После заполнения чаши карьера вскрышными породами часть площади засыпанного карьера будет использована под внешний отвал. В 2022 году произведен ввод в работу вскрышного конвейера с отвалообразователем. На рисунке 4.1 представлены снимок со спутника и чертеж текущего положения горных работ на карьере.

Для удлинения существующего рудного конвейера по восточному борту карьера с гор. + 220 м закладываются съезды с уклоном  $12^\circ$  до гор. + 10 м. Для ускорения ввода конвейера в действие развитие горных работ в первую очередь ведется вдоль восточного борта. В 2025 году планируется ввод в работу второй линии рудного конвейера.

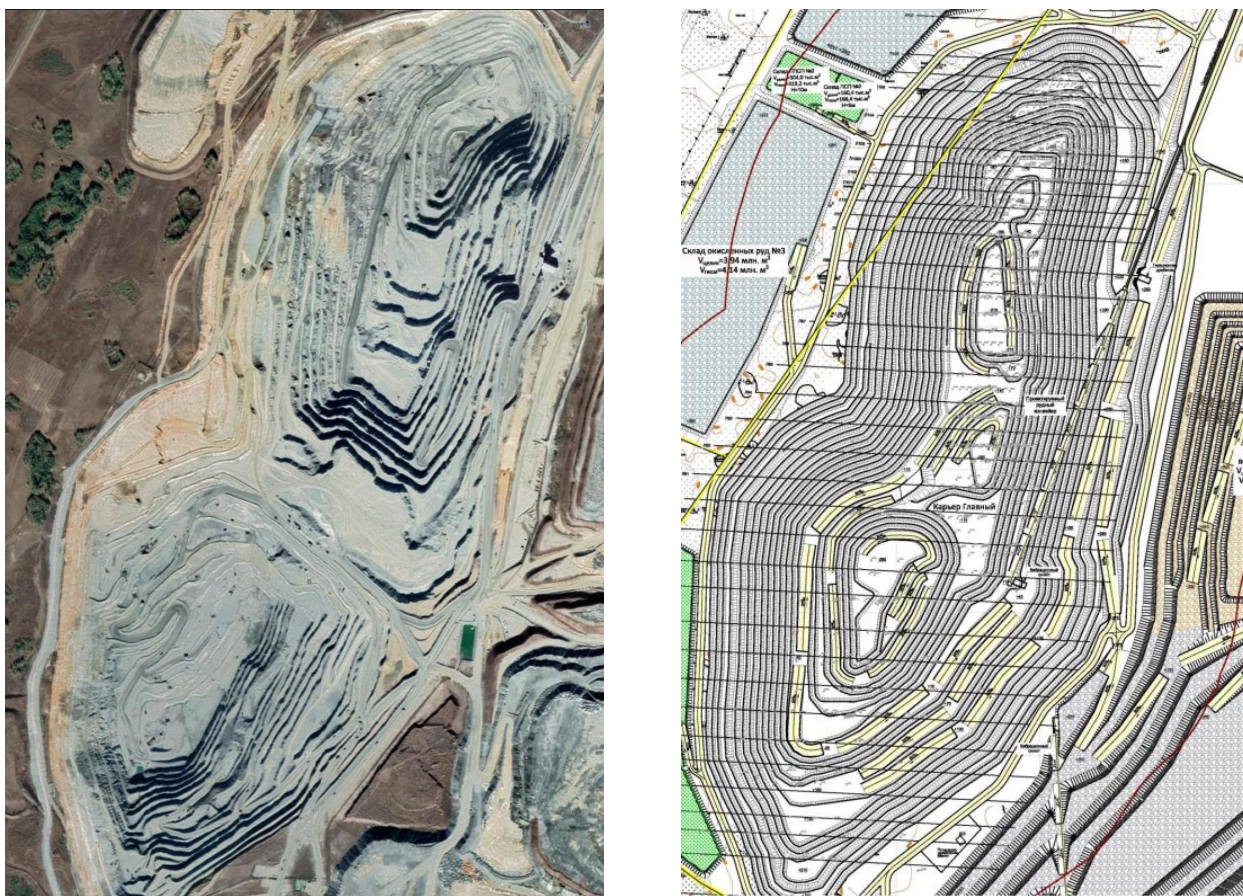


Рисунок 4.1 – Михеевское месторождение медно-порфириновых руд

После завершения работ в северной части Главного карьера до отметки -215 м с 2036 года будет производиться отсыпка вскрышных пород в выработанное пространство с созданием внутреннего отвала объемом 28 млн м<sup>3</sup> до отм. + 100 м. В этом же году перестанет действовать вскрышной конвейер, т.к. расстояние транспортирования до него превысит расстояние до внутреннего отвала.

### *Особенности принятой системы разработки карьера*

Запасы Михеевского месторождения вскрыты четырьмя капитальными траншеями [2]:

- две траншеи внутреннего заложения на восточном борту карьера используются для проезда автомобильного транспорта с гор. + 250 м на отвал вскрышных пород и к складу окисленных руд;

- одна траншея внутреннего заложения используется для размещения рудного конвейера с гор. + 220 м;

- одна траншея внешнего заложения является вспомогательной и обеспечивает проезд транспортных средств из карьера с гор. + 220 м до промплощадки.

Принята углубочная система разработки месторождения по направлению подвигания фронта горных работ в плане – поперечная однобортовая система разработки, при которой фронт вскрышных и добычных работ перемещается параллельно длинной оси карьерного поля от севера к югу. Контур карьера в конце отработки запасов определен из условия вовлечения всех балансовых запасов в отработку.

Высокая производительность месторождения обеспечивается применением мощного горного оборудования. Вскрышные работы ведутся комбинированной технологией. Используются две основные схемы механизации. Первая представляет собой ведение выемочно-погрузочных работ с помощью экскаватора с погрузкой в автосамосвалы и разгрузкой их на отвале, где планирование осуществляется с помощью бульдозеров. Вторая схема механизации предполагает разгрузку автосамосвала на конвейер с транспортированием пустой породы в

отвалообразователь. Добыча полезного ископаемого производится только по первой схеме механизации.

Рыхлые и скальные породы разрабатываются отдельно. Выемка руды предусматривается селективно по ее типам; часть окисленных руд и рыхлых вскрышных пород отрабатывается без использования подготовительных буровзрывных работ. Остальные типы запасов руд и скальные породы предварительно подготавливаются к выемке буровзрывным способом.

### ***Выемочно-погрузочные работы***

Выемка и погрузка горной массы предусматривается гидравлическими экскаваторами Komatsu PC-4000 «прямая лопата» и Komatsu PC1250-11R «обратная лопата» с ковшами вместимостью 22 м<sup>3</sup> и 6,5 м<sup>3</sup> соответственно и фронтальными погрузчиками Komatsu WA-900 с ковшом вместимостью 13 м<sup>3</sup>.

Доставка пустой горной породы на отвал и руды на склады производится карьерным автосамосвалом Komatsu 730E с грузоподъемностью 184 т. На нижних горизонтах ниже -110 м применяются автосамосвалы Volvo A40 [2].

В зависимости от типа слагающих горных пород и используемого горнотранспортного оборудования высота формируемых рабочих уступов варьируется от 10 до 15 метров.

Для нахождения оптимальной высоты уступа необходимо учитывать физико-механические свойства и горно-геологические условия залегания вмещающих пород и полезного ископаемого, а также параметры применяемого на карьере горнотранспортного оборудования. Минимальный размер уступа зависит от размеров экскаватора и условий наполнения ковша за цикл погрузки. Максимальный размер уступа, без использования буровзрывных работ ограничивается максимальной высотой (глубиной) черпания выемочно-погрузочного оборудования.

Если на месторождении принят буровзрывной способ подготовки пород к выемки, то допускается увеличивать высоту уступа до полуторной высоты черпания, при этом высота развала должна быть меньше паспортной высоты черпания работающего в забое экскаватора.

### ***Отвалообразование***

На формирование отвалов предусматривается применение бульдозеров Komatsu D375. На работах по формированию складов руды, ПСП и ППСП предусматривается использовать колесный бульдозер Komatsu WD600. Погрузку со складов в транспортные средства предусматривается осуществлять фронтальными погрузчиками Komatsu WA900, Komatsu WA500.

На восточном борту карьера на гор. + 220 м и + 250 м располагается площадка дробильно-конвейерного комплекса, используемого для дробления добытой руды и подачи ее на конвейер и далее на склад руды вблизи обогатительной фабрики. Дно существующего карьера АО «Михеевский ГОК» находится на гор. + 85 м. Грузотранспортный доступ на рабочие площадки обеспечивается с использованием временных автомобильных съездов. Вскрышные породы транспортируются на отвалы, расположенные к востоку от карьера. Объем отвала рыхлых вскрышных пород составляет 20 млн м<sup>3</sup>, отвала скальных вскрышных пород – 34 млн м<sup>3</sup>. Добыча руды на месторождении ведется с 2013 года. Производительность карьера по сульфидной руде составляет 17,5 млн т/год. Согласно календарному плану производства работ карьера АО «Михеевский ГОК», объем добычи сульфидных руд составляет 23,9 млн т. Попутно добываемые забалансовые окисленные руды складированы на площадке между обогатительной фабрикой и отвалом рыхлых вскрышных пород. До декабря 2017 года окисленные руды относились к балансовым и были переведены в забалансовые. На складе окисленных руд накоплено 4685,2 тыс. т попутно добытой забалансовой руды. Фактическая производительность карьера по руде составляет 18 млн т/год.

### ***Буровзрывные работы***

На карьере основная часть пород имеет среднюю крепость 13 по шкале проф. М.М. Протодяконова, наиболее оптимальный способ отделения скальных пород от горного массива – буровзрывной.

В настоящее время на Михеевском карьере применяются две модели буровых станков: Atlas Copco PV235 и Atlas Copco PV-271. Технические характеристики бурового станка Atlas Copco PV235 не позволяют проводить буровые работы без

увеличения длины бурового става, из-за паспортной длины штанги равной 12,2 м и достаточно невысокой максимальной силе давления на долото равной 267 кН, В связи с этим, для бурения основных технологических скважин, так же на заоткоске уступов, на карьере используется станок Atlas Copco PV-271, с большими размерами и увеличенной производственной мощностью соответственно. Максимальная глубина скважин для бурового станка равна 16,8 м без необходимости наращивать буровой став, усилие на долото составляет 333 кН. Не исключается также и применение станка Atlas Copco PV235.

В качестве взрывчатых материалов на открытом руднике Михеевского ГОКа могут использоваться различные взрывчатые вещества (ВВ), допускаемые к применению на открытых горных работах. Дальнейшие расчеты проводятся по трем типам ВВ: граммонит 79/21, гранулотол, эмульсионный состав АС-25П. Взрывные работы на открытом руднике будут производиться подрядным способом. В связи с этим, организация транспортировки, хранения и подготовки взрывчатых материалов к применению не предусмотрены [2].

На карьере применяются скважинные заряды с короткозамедленным способом инициирования неэлектрического типа СИНВ, Нонель, Эдилин и аналогов, в соответствии с «Перечнем взрывчатых материалов, оборудованием и приборов взрывного дела, допущенных к применению в Российской Федерации». Кроме того разрешено осуществлять взрывные работы с применением короткозамедленных электродетонаторов, где инициирование проводится с помощью детонирующего шнура и пиротехнического реле. Независимо от принятого способа взрывание тротилловые шашки используются как промежуточные детонаторы. Заряд сплошной с донным инициированием, взрывная сеть продублирована.

Зарядание и забойку целесообразно осуществлять механизированным способом. В качестве забоечного материала предусматривается использование буровой мелочи.

Размер габаритного куска принят: по руде не более 1,0 м, по вскрышным породам не более 1,05 м. Выход кусков породы размером более 1,0 м при взрывной подготовке горной массы согласно расчетам, составляет 3%.

Практика отработки рудных крутопадающих месторождений показывает, что на глубоких карьерах, рано или поздно, происходит формирование временно нерабочего борта. Это связано с изменением как внешних, так и внутренних факторов. К таким факторам относятся: изменение объемов балансовых запасов в ходе доразведки, влияние горно-геологических условий, влияние внешних экономических и финансовых факторов.

Столкнувшись со сложными условиями, горнодобывающему предприятию приходится «выживать» за счет уменьшения коэффициента вскрыши. Необходимо учитывать возможность возникновения подобных сценариев и иметь проект на наихудший случай. Часто возможно спрогнозировать падение цен на полезное ископаемое или ухудшение горнотехнических параметров. Так, например, в какой-то момент времени из-за изменения формы карьера становится невозможным вовлечь в отработку дополнительные объемы полезного ископаемого с целью обеспечения требуемой производительности. Или под воздействием внешних факторов происходит отложенное негативное влияние на экономические показатели, последствия которого необходимо минимизировать.

В таких случаях, одним из способов решения является изменение формы борта карьера путем создания ВНБ, но планировать его конструкцию и технологические схемы расконсервации, а также начинать его формирование необходимо заблаговременно.

#### **4.2 Применение разработанных технических решений в разработке Михеевского месторождения медно-порфиритовых руд**

Выбор и обоснование рациональных технологических схем расконсервации временно нерабочего борта на рудном крутопадающем месторождении является одной из задач исследования. Поставленная задача требует комплексного подхода к решению и включает в себя: выбор способа ведения буровзрывных работ, выбор

выемочно-погрузочного оборудования и способа транспортирования взорванной горной массы, а также определение очередности расконсервации горизонтов.

Областью применения предлагаемой методики определения способа и порядка расконсервации временно нерабочего борта являются рудные крутопадающие месторождения со сформированным временно нерабочим бортом или карьеры, где строительство ВНБ предусмотрено проектом на разработку.

Идея предлагаемой методики заключается в том, что основным критерием для определения всех основных технологических процессов горных работ по формированию и расконсервации временно нерабочего борта является ширина оставляемых площадок в целике.

Исследуемую методику расконсервации временно нерабочего борта на рудных крутопадающих месторождениях возможно использовать на Михеевском месторождении медно-порфириновых руд. Горно-геологические условия залегания руд и выделение на карьере отдельных участков позволяют сформировать временно нерабочий борт на одном из них. В условиях работы по реконструкции карьера и вовлечению в отработку новых площадей, консервация части вскрышных пород путем формирования ВНБ является одним из способов стабилизации коэффициента вскрыши. При этом, при планировании временно нерабочего борта необходимо учесть его своевременную расконсервацию.

Исходные данные приняты в расчетах на основании реализованных проектных решений, имеющейся на предприятии техники, а также горно-геологических условий месторождения и представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. – Исходные данные Михеевского месторождения

Наименование	Обозначение	Значение
<b>Горно-геологические параметры месторождения и технологические параметры карьера</b>		
Высота уступа, м	$h_y$	15
Угол откоса уступа, град.	$a$	75
Угол рабочего борта карьера, град.	$f$	14
Угол падения рудного тела, град.	$r$	75

Продолжение таблицы 4.1

Наименование	Обозначение	Значение
Минимальная ширина рабочей площадки, м	$B_{р.п}$	55
Глубина карьера на конец отработки, м	$H_K$	350
<b>Буровзрывные работы</b>		
<i>Буровой станок Atlas Copco PV235</i>		
<i>Взрывчатое вещество Rioflex 7000</i>		
Принимаемое значение ЛСПП, м	$W$	7
Нормативный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup>	$q_{В.В}$	0,6
Коэффициент взрываемости пород	$k_B$	2
Коэффициент угла наклона скважин (вертикальные/наклонные)	$k_a$	1/0,6
Коэффициент дальности выброса взорванной горной массы	$k_з$	0,8
Диаметр скважины, м	$d_{СКВ}$	0,255
Длина скважины, м	$L_{СКВ}$	16,5
Призма обрушения, м	$z$	3,2
Длина взрываемого блока, м	$L_б$	223
<b>Выемочно-погрузочные работы</b>		
<i>Гидравлический экскаватор Komatsu PC1250-11R (прямая / обратная лопата)</i>		
Объем ковша, м <sup>3</sup>	$q_э$	6,5/5,2
Максимальный радиус черпания, м	$R_ч$	11,4/15,3
Максимальная высота черпания, м	$H_ч$	12,3/13,5
Максимальная глубина черпания, м	$D_ч$	3,7/10,4
<b>Транспортирование взорванной горной массы</b>		
<i>Автосамосвал Volvo A40</i>		
Объем кузова, м <sup>3</sup>	$V_K$	24
Ширина колесной базы, м	$B_{к.б}$	3,4
Радиус поворота, м	$R_{р.п}$	4,4

Исследуемый метод отработки рудных крутопадающих месторождений применим на Михеевском карьере. На месторождении выделено два участка: Главный карьер и Южный карьер. Геологические условия залегания руд и текущее положение горных работ Главного карьера позволяют сформировать временно нерабочий борт. На рисунке 4.2 представлен поперечный разрез Главного участка



карьера АО «Михеевский ГОК».

Для всех работ, связанных с консервацией и расконсервацией ВНБ, предлагается использовать имеющееся на карьере горнотранспортное оборудование без дополнительных капитальных затрат.

Определение рациональных параметров ВНБ зависит от показателей его расконсервации. Для имеющегося парка оборудования необходимо определить минимальные размеры рабочих площадок, высоту и угол наклона консервируемых уступов. Это необходимо для обеспечения возможности начала работ по ликвидации целика и размещения на расконсервируемых горизонтах развала взорванной горной массы.

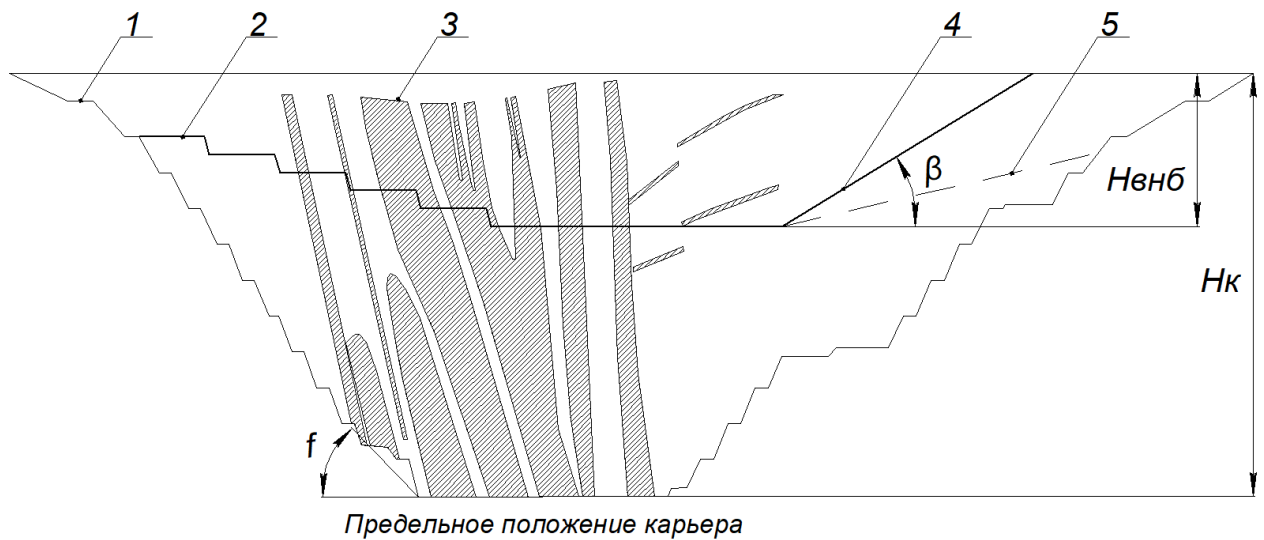


Рисунок 4.2 – Михеевское месторождение медно-порфириновых руд (разрез Главный карьер)

- 1 – контур карьера на конец отработки; 2 – рабочий борт карьера; 3 – рудные залежи;  
4 – временно нерабочий борт; 5 – временно нерабочий борт после расконсервации.

В первую очередь, необходимо определить параметры и показатели буровзрывных работ.

Расстояние между скважинами в одном ряду (4.1):

$$a = \frac{0,5W}{\sqrt[3]{d_{\text{СКВ}}}} \quad (4.1)$$

Для варианта с использованием многорядных схем взрывания необходим расчет расстояния между скважинами  $m$ , для схем с короткозамедленным взрыванием данное расстояние следует принимать (4.2) [57]:

$$m = 0,85a. \quad (4.2)$$

Выбранный буровой станок можно использовать для бурения как вертикальных скважин, так и для скважин наклоном до  $20^\circ$ .

Ширина развала для однорядных схем (4.3) [74]:

$$P = k_b k_a \sqrt{q_{в.в}} h_y. \quad (4.3)$$

При применении многорядного взрывания без использования подпорной стенки, ширина развала взорванной горной массы (4.4):

$$P_m = k_3 P + (n - 1)m. \quad (4.4)$$

Ширина взрываемого блока (4.5):

$$Ш_{в.б} = W + (n - 1) * m. \quad (4.5)$$

Ширина развала взорванной горной массы, располагающейся в выработанном пространстве взрываемого горизонта (4.6):

$$S = P - Ш_{в.б}. \quad (4.6)$$

Минимальная ширина оставляемой площадки определяется с учетом размещения на ней развала горной массы и безопасного расстояния от бровки уступа до бровки отвала (4.7):

$$Ш_{\min} = S + C. \quad (4.7)$$

В качестве выемочно-погрузочного оборудования на работах по расконсервации ВНБ предлагается использовать уже имеющийся гидравлический экскаватор Komatsu PC-1250, который может быть оборудован как прямой, так и обратной мехлопаты. Экскаватор имеет небольшие размеры по сравнению с оборудованием, которое используется на добычных работах, что имеет большое значение в условиях эксплуатации на уменьшенных рабочих площадках; в расчетах принято одновременное использование 4 экскаваторов.

Для транспортирования взорванной горной массы предлагается применять сочлененный автосамосвал Volvo A40.

Рассматриваемое горное оборудование возможно использовать в различных вариантах технологических схем. Для выбора рациональной схемы расконсервации необходимо определить параметры рассматриваемых схем

с учетом возможности применения как прямой, так и обратной лопаты, а также различных вариантов размещения транспортных берм и способов погрузки.

Ширина нормальной экскаваторной заходки определяется по радиусу черпания (4.8) [43]:

$$A_3 = (1,5-1,7)R_{\text{ч}}. \quad (4.8)$$

В торцевом забое применяются узкие заходки, ширина которых определяется (4.9):

$$A_3 = 0,7 * R_{\text{ч}}. \quad (4.9)$$

Ширина проезжей части (4.10.):

$$P_n = 2 * (B_{\text{т.б}} + y) + x, \text{ м}, \quad (4.10)$$

где  $y$  – ширина предохранительной полосы между автомобилем и краем проезжей части, м;

$x$  – безопасный зазор между встречными машинами, м.

Ширина транспортной бермы (4.11):

$$B_{\text{т.б}} = P_n + P_k + b + P_g + P_o + P'_o + P_{\text{б.н}}. \quad (4.11)$$

Полученное значение округляется до значения ширины проезжей части в соответствии со СНиП: «Промышленный транспорт» [81].

Для рассматриваемого комплекса выемочно-погрузочного оборудования высота уступа ограничивается высотой и глубиной черпанья экскаватора. При использовании модификации с прямой лопатой высота уступа принимается равной 15 м. Если рассматривать модификацию экскаватора с обратной лопатой, для схем с установкой на шапку взрыва высота уступа будет ограничиваться 10 м.

Порядок выбора технологических схем расконсервации временно нерабочего борта с учетом имеющегося на карьере оборудования:

1. Определение ширины развала взорванной горной массы для различных вариантов технологических схем ведения буровзрывных работ.

От выбора конструкции скважин, их количества на взрываемом блоке и расположения, угла наклона зависит ширина развала взорванной горной массы, которая не должна быть больше, чем ширина оставляемых площадок. Необходимо учесть как можно больше вариантов схем: однорядных, многорядных с разным

количеством рядом, а также технологических схем с использованием подпорной стенки.

## 2. Определение параметров заходки и места установки экскаватора.

Для рассматриваемого примера гидравлические экскаваторы оборудуются как прямой, так и обратной лопатой. Все технологические схемы применения экскаватора Komatsu PC-1250, соответственно, также делятся на схемы, где он устанавливается у нижней бровки развала взорванной горной массы, а также на схемы с экскаватором, модифицированным обратной лопатой устанавливаемым на шапку взрыва. В данном случае высота уступа ограничивается 15 м, при установке на подошву уступа, и 10 м, при расположении на шапке взрыва.

## 3. Определение параметров транспортной бермы и способа погрузки.

В зависимости от конструкции забоя и типа экскаватора подача автосамосвалов в забой может осуществляться разными способами. Один из них – погрузка взорванной горной массы – в автосамосвалы, располагающиеся на уровне стояния экскаватора. Для обратных лопат возможна установка самосвала под погрузку ниже или выше уровня стояния экскаватора.

## 4. Определение размеров ширины рабочей площадки.

При расположении транспортной бермы и развала взорванной горной массы на одном горизонте минимальная ширина рабочей площадки будет зависеть как от ширины транспортной бермы, так и от ширины развала. Размер оставляемых площадок принимается по наибольшему из этих значений.

В тех случаях, когда ширина транспортной бермы меньше ширины развала, но при этом они находятся на одном горизонте, необходимо принимать минимальную ширину рабочей площадки больше ширины развала на несколько метров. Это расстояние необходимо для размещения предохранительного вала вдоль призмы обрушения уступа. Таким образом, транспортная берма любого размера приводит к увеличению ширины оставляемых площадок.

При сравнении ширины развала, ширины заходки и ширины транспортной бермы минимальная ширина площадки принимается по наибольшему из этих значений.

5. Выбор конструкции временно нерабочего борта и технологической схемы расконсервации.

Даже при ограничении в виде условия, что при расконсервации будет использоваться уже имеющееся горнотранспортное оборудование, существует достаточно большое количество вариантов комбинаций технологических схем. Такие комбинации складываются из следующих принятых технологических решений: использование однорядных или многорядных схем взрывания, варьирование количества рядов скважин, применение вертикальных или наклонных скважин, выбор количества уступов, через которые оставляются уменьшенные рабочие площадки, применение экскаваторов с прямой или обратной лопатой, а также выбор различных вариантов подачи автосамосвала под погрузку.

Рассматривая возможные варианты схем, необходимо исключить из анализа технологические решения, реализация которых либо совсем невозможна, либо отсутствие экономической выгоды становится очевидным. Например, если ширина развала взорванной горной массы сильно превышает ширину оставляемых площадок, и при этом схема не предполагает отработку взорванной горной массы с перевалкой на нижние горизонты. Или, если при выбранной конструкции ВНБ имеет слишком маленький угол наклона и, как следствие, из-за небольших объемов консервации его формирование становится экономически нецелесообразно.

В зависимости от поставленных задач, которые необходимо достичь с помощью ВНБ, необходимо определить рациональную конструкцию нерабочего борта и технологическую схему его расконсервации. Все рассмотренные варианты технологических схем необходимо сравнить по основным критериям таким, как объем консервации породы в целике, скорость расконсервации, а также экономическим показателям.

Результаты расчетов параметров и показателей различных вариантов технологических схем представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2. – Параметры и показатели различных вариантов технологических схем расконсервации ВНБ

Параметр и показатели технологических схем расконсервации	Способ взрывания						
	Однорядное взрывание				Многорядное взрывание		
	Скважины с нормальной высотой заряда	Наклонные скважины	Скважины с увеличенной высотой заряда	Скважины с уменьшенной высотой заряда	Два ряда скважин	Три ряда скважин	Взрывание с подпорной стенкой
Схема 1. Экскаватор с прямой лопатой, выемка взорванной горной массы верхним черпаньем с погрузкой в автосамосвал, установленный на одном горизонте с экскаватором							
Ширина развала взорванной горной массы, м	29	38	36	21	35	40	20
Ширина взрываемого блока, м	7	7	7	7	12	17	17
Ширина развала в выработанном пространстве горизонта, м	22	31	29	14	23	23	33
Ширина заходки, м	18	18	18	18	18	18	18
Ширина транспортной бермы, м	20	20	20	20	20	20	20
Минимальна ширина оставляемой площадки на ВНБ, м	25	34	32	20	26	26	42
Минимальная ширина оставляемой бермы на ВНБ, м	10	10	10	10	15	20	20
Угол наклона ВНБ, град.	33	29	30	38	30	28	22
Извлекаемый объём пород для формирования рабочего борта, млн м <sup>3</sup>	12,4	11,0	11,4	13,2	11,4	10,6	7,8
Полное время расконсервации ВНБ, лет	1,4	1,2	1,4	2,2	1,2	1,4	1,0
Схема 2. Экскаватор с обратной лопатой, выемка взорванной горной массы нижним черпаньем с погрузкой в автосамосвал, установленный на одном горизонте с экскаватором							
Ширина развала взорванной горной массы, м	19	25	24	14	25	30	17
Ширина взрываемого блока, м	7	7	7	7	12	17	17
Ширина развала в выработанном пространстве горизонта, м	12	18	17	7	12	13	30
Ширина заходки, м	24	24	24	24	24	24	24
Ширина транспортной бермы, м	20	20	20	20	20	20	20
Минимальна ширина оставляемой площадки на ВНБ, м	12	18	17	7	12	13	30
Минимальная ширина оставляемой бермы на ВНБ, м	10	10	10	10	15	20	20
Угол наклона ВНБ, град.	34	30	30	39	28	26	19
Извлекаемый объём пород для формирования рабочего борта, млн м <sup>3</sup>	12,8	11,2	11,4	14	11,2	10	5,8
Полное время расконсервации ВНБ, лет	2,4	2,2	2,2	2,8	2,2	2	1,2
Схема 3. Экскаватор с обратной лопатой, выемка взорванной горной массы нижним черпаньем с погрузкой в автосамосвал, установленный на нижнем горизонте							
Ширина развала взорванной горной массы, м	19	25	24	14	25	30	17
Ширина взрываемого блока, м	7	7	7	7	12	17	17
Ширина развала в выработанном пространстве горизонта, м	12	18	17	7	12	13	30
Ширина заходки, м	24	24	24	24	24	24	24
Ширина транспортной бермы, м	20	20	20	20	20	20	20
Минимальна ширина оставляемой площадки на ВНБ, м	20	20	20	20	20	20	33
Минимальная ширина оставляемой бермы на ВНБ, м	10	10	10	10	15	20	20
Угол наклона ВНБ, град.	28	28	28	28	25	23	18
Извлекаемый объём пород для формирования рабочего борта, млн м <sup>3</sup>	10,8	10,8	10,8	10,8	9,4	8,2	5
Полное время расконсервации ВНБ, лет	2	2	2,2	2	1,8	1,6	1

Продолжение таблицы 4.2

Параметр и показатели технологических схем расконсервации	Способ взрывания												
	Скважины с нормальной высотой заряда						Наклонные скважины						
	Скважины с нормальной высотой заряда		Наклонные скважины		Скважины с увеличенной высотой заряда		Скважины с уменьшенной высотой заряда		Два ряда скважин		Три ряда скважин		Взрывание с подпорной стенкой
Схема 4. Экскаватор с обратной лопатой, выемка взорванной горной массы нижним черпаньем с погрузкой в автосамосвалы, установка которых чередуется на нижний и на один горизонт с экскаватором													
Ширина развала взорванной горной массы, м	19		25		24		14		20		25		-
Ширина взрываемого блока, м	7		7		7		7		12		17		-
Ширина развала в выработанном пространстве горизонта, м	12		18		17		7		7		8		-
Ширина заходки, м	24		24		24		24		24		24		-
Ширина транспортной бермы, м	20		20		20		20		20		20		-
Средняя ширина оставляемых площадок на ВНБ, м	16		19		18		15		18		20		-
Минимальная ширина оставляемой бермы на ВНБ, м	10		10		10		10		15		20		-
Угол наклона ВНБ, град.	31		29		30		32		26		23		-
Извлекаемый объём пород для формирования рабочего борта, млн м <sup>3</sup>	11,6		11		11,2		12		10		8,2		-
Полное время расконсервации ВНБ, лет	2,2		2,2		2,2		2,4		2		1,6		-
Схема 5. ВНБ с разной высотой уступов. Чередование на уступах экскаватора с прямой лопатой и погрузкой в автосамосвал на одном горизонте с экскаватором с обратной лопатой и погрузкой в автосамосвал на одном горизонте													
Ширина развала взорванной горной массы, м	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	-
Ширина развала, м	19	29	25	38	24	36	14	21	25	35	30	40	-
Ширина взрываемого блока, м	7	7	7	7	7	7	7	7	12	12	17	17	-
Ширина развала в выработанном пространстве горизонта, м	12	22	18	31	17	29	7	14	12	23	13	23	-
Ширина заходки, м	18	24	18	24	18	24	18	24	18	24	18	24	-
Ширина транспортной бермы, м	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-
Минимальная ширина оставляемой площадки на ВНБ, м	12	25	18	34	17	32	7	20	12	26	13	26	-
Минимальная ширина оставляемой бермы на ВНБ, м	10		10		10		10		15		20		-
Угол наклона ВНБ, град.	27		22		23		32		25		23		-
Извлекаемый объём пород для формирования рабочего борта, млн м <sup>3</sup>	10,4		7,8		8,2		12		9,4		8,4		-
Полное время расконсервации ВНБ, лет	2		1,6		1,6		2,4		1,8		1,6		-

В первую очередь, предлагается сравнить схемы расконсервации временно нерабочего борта без учета способа взрывания. Для это необходимо получить средние значения объемов и времени расконсервации для всех рассмотренных способов ведения взрывных работ и сравнить полученные значения. Результаты анализа представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3. – Усредненные показатели консервации рассмотренных технологических схем

Показатели	Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4	Схема 5
Средний объём породы, которую необходимо извлечь для формирования рабочего борта, млн м <sup>3</sup>	11,67	11,77	10,13	10,67	9,37
Среднее время расконсервации ВНБ, лет	1,47	2,30	1,93	2,10	1,83

Наибольший объем консервации достигается при использовании технологической схемы 2. Схема подразумевает использование экскаватора, оборудованного обратной лопатой, выемка взорванной горной массы производится нижним черпаньем, а автосамосвал устанавливается на одном горизонте с экскаватором. Однако скорость расконсервации при таком способе является наименьшей.

Для имеющегося парка оборудования наиболее рациональной является схема 1, она имеет наибольшую скорость расконсервации и практически самый большой объем законсервированных пород. Это обусловлено, в первую очередь, тем, что для рассматриваемого экскаватора в технологических схемах с прямой лопатой возможно использовать уступы высотой 15 м, при использовании обратной лопаты высота уступа ограничивается 10 м. Кроме того, эксплуатационная производительность экскаватора с модификацией типа обратная лопата на 60% меньше, чем с модификацией типа прямая лопата (рисунок 4.3).

Определив тип технологической схемы, необходимо определить способ ведения взрывных работ. В большинстве рассмотренных вариантов применение многорядных схем взрывания является нерациональным из-за того, что ширина взрывного блока становится слишком большой и необходимо существенно



увеличивать размер берм. Для использования подпорной стенки необходим еще больший размер площадок, поэтому применение такого способа является частным случаем, когда необходимо полностью исключить возможность перевалки взорванной горной массы.

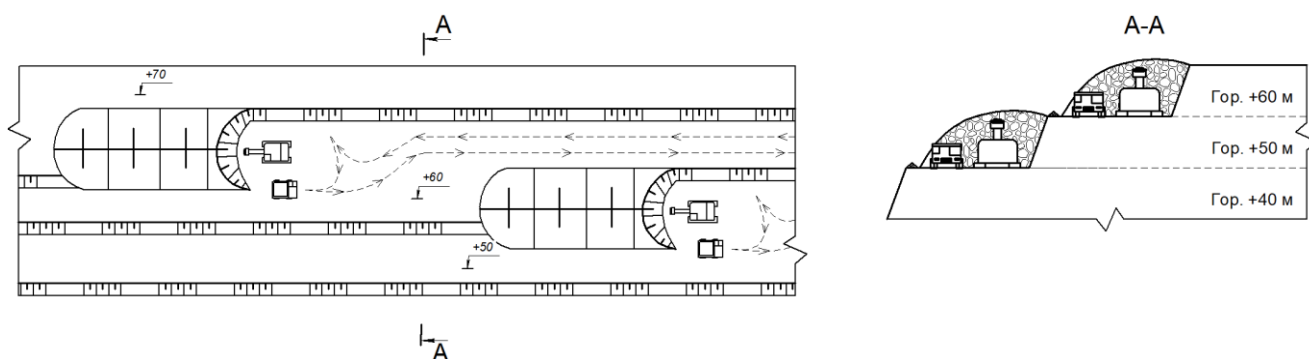


Рисунок 4.3 – Технологическая схема расконсервации ВНБ экскаватором с прямой лопатой. Выемка взорванной горной массы осуществляется верхним черпаньем с погрузкой в автосамосвал, установленный на одном горизонте с экскаватором

Наибольший объем консервации возможно достигнуть, используя скважины с уменьшенным объемом заряда. Это достигается за счет того, что ширина развала взорванной горной массы при таком способе ведения взрывных работ наименьшая. Ширина необходимых для размещения взрыва площадок также уменьшается и, как следствие, увеличивается угол откоса ВНБ и объемы консервации. Однако у такого способа имеется ряд недостатков, один из них – существенное увеличение времени, необходимого для расконсервации. Увеличивается объем буровзрывных работ и ухудшается качество дробления куска.

В качестве альтернативной схемы необходимо рассматривать схему с нормальным уровнем заряда. Скорость её расконсервации заметно больше, при этом угол откоса ВНБ остается высоким, это позволяет законсервировать существенные объемы породы в целике. Рассматриваемые схемы ведения взрывных работ представлены на рисунке 4.4.

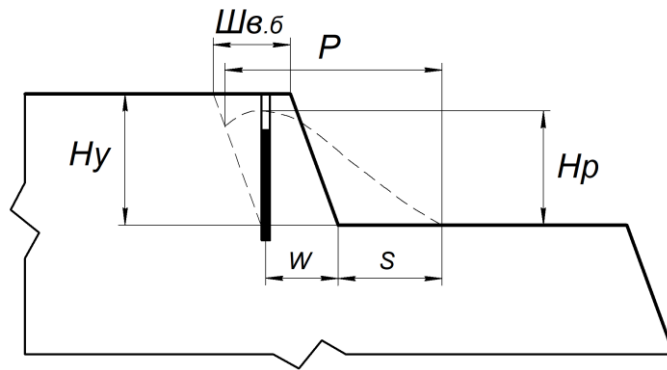


Рисунок 4.4 – Технологическая схема ведения взрывных работ, с использованием скважины с нормальным уровнем заряда

Рассмотренная методика позволяет определить ряд возможных для реализации технологических схем, исключив из анализа подавляющее большинство нерациональных вариантов. Окончательное определение схемы конструкции ВНБ и его расконсервации необходимо проводить с учетом оценки экономических показателей и в зависимости от поставленных проектных задач.

### **4.3 Экономическая оценка технологических схем формирования и расконсервации временно нерабочего борта для горнотехнических условий меднорудного Михеевского месторождения**

При определении рациональной конструкции временно нерабочего борта и способа его последующей расконсервации необходимо руководствоваться рядом горнотехнических, горно-геологических показателей, а также принятой системой разработки и типом используемого на карьере выемочно-погрузочного оборудования. По результатам исследований была предложена технологическая схема формирования и расконсервации временно нерабочего борта. Необходимо сравнить между собой предлагаемый вариант, а также проект без применения ВНБ.

Экономические расчеты проводились на основе руководства по подготовке промышленных технико-экономических исследований (UNIDO), а также в соответствии с действующими в России нормативами и методиками [55].

Расчеты выполнены на период, равный 10 годам. Такой временной период принят на основании сроков строительства и расконсервации ВНБ, а также

в соответствии с календарным графиком ведения горных работ. В качестве одного шага в расчетах используется 1 год.

Все бюджетные и внебюджетные выплаты, отчисления и налоги рассчитаны согласно действующему законодательству Российской Федерации. На сегодняшний день Михеевское месторождение медно-порфириновых руд является действующим, в расчетах используются фактические данные, полученные из общедоступных источников и не являющиеся коммерческой тайной. Вся выручка предприятия обеспечивается путем реализации на рынке медного концентрата, содержащего в себе медь, золото, серебро и молибден.

Для действующего предприятия экономическую оценку эффективности предлагаемого решения следует осуществлять путем сравнения с вариантом, где предприятие продолжает функционировать по первоначальному проекту без внесения дополнительных изменений. Вследствие того, что предприятие в настоящее время функционирует, фоновый поток денежных средств принимается как «ненулевой».

Исходные данные, принятые в технико-экономических расчетах, представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4. – Техничко-экономические данные, принятые в расчётах.

Наименование	Значение
<b>Реализация продукции</b>	
Объем руды при выходе на проектную мощность, млн т/год	27
<b>Содержание попутных компонентов в руде</b>	
Содержание меди в окисленной руде, %	0,35
Содержание золота в первичной руде, г/т	0,1
Содержание серебра в первичной руде, г/т	1,0
<b>Извлечение металлов в готовую продукцию, %</b>	
Процент извлечения меди в концентрат из первичной руды	85
Процент извлечения золота в концентрат из первичной руды	53
Процент извлечения серебра в концентрат из первичной руды	53
<b>Цены на готовую продукцию (без учета НДС)</b>	
Медь в медном концентрате, руб./т	243429

Продолжение таблицы 4.4

Наименование	Значение
Золото в медном концентрате, руб./кг	2323447
Серебро в медном концентрате, руб./кг	27954
<b>Налоговые ставки</b>	
Отчисления на социальные нужды (с учетом страховых взносов), %	43
НДПИ, %	8
НДС, %	20
Налог на имущество, %	2,2
Налог на прибыль, %	20

На сегодняшний день предприятие обладает всем необходимым для проекта парком оборудования и всей вспомогательной инфраструктурой для его технического обслуживания.

Инвестиции предполагают амортизацию и обновление парка оборудования карьера, а также увеличение объёма оборотных средств.

После всех налоговых отчислений чистый оборотный капитал составит 22,5 млрд руб. Чистая прибыль составит 5,9 млрд руб. Выплата дивидендов осуществляется из чистой прибыли и составляет 3 млрд руб. [20].

Готовая продукция представлена в виде концентратов, себестоимость производства складывается из всех затрат. Сумма затрат горнодобывающего предприятия складывается из следующих позиций:

1. Добыча руды на карьере;
2. Транспортировка руды из складов на карьере до фабрики для обогащения;
3. Переработка руды в концентрат на рудообогатительной фабрике;
4. Коммерческие расходы в виде транспортировки готового концентрата до конечного потребителя;
5. Общехозяйственные расходы;
6. Амортизация основных средств.

При расчетах учитывается, что горные работы выполняются собственным оборудованием с соответствующей производительностью и имеющимся в наличии количеством.

Себестоимость готовой продукции включает в себя сумму всех затрат на добычные работы и транспортирование горной массы.

Основные расходы, определяющие себестоимость:

1. Материальные расходы. Определяются затратами на горюче-смазочные материалы.
2. Затраты на выплаты заработной платы персоналу предприятия.
3. Расходы на выплаты налогов и страховых взносов.
4. Амортизация основных производственных фондов.
5. Остальные виды расходов.

Помимо основных расходов себестоимость готовой продукции включает в себя затраты на транспортирование медного концентрата потребителю, а также ряд общехозяйственных расходов, которые напрямую не связаны с добычными работами и процессом обогащения руд.

В рассматриваемый временной период оценки общие затраты на производство составляют 7,5 млрд руб в год.

Денежный поток от реализации готовой продукции при максимальной производительности равен 18,5 млрд руб. в год.

Величина выручки от реализации готовой продукции, а также затраты на производство представлены на рисунке 4.5.

Часть выручки инвестируется в разработку Михеевского месторождения, такой способ инвестиций имеет минимальные риски, ставка дисконтирования принимается равной 12% годовых.

Оплата капитальных затрат осуществляется из средств, получаемых от реализации сырья на рынке. Ожидаемая сумма чистого денежного потока за все период проекта составляет 158 млрд руб., с учетом дисконтирование 62 млрд руб. На рисунке 4.6 представлено соотношение чистого и дисконтированного потока денежных средств, а также графики денежных потоков нарастающим итогом.

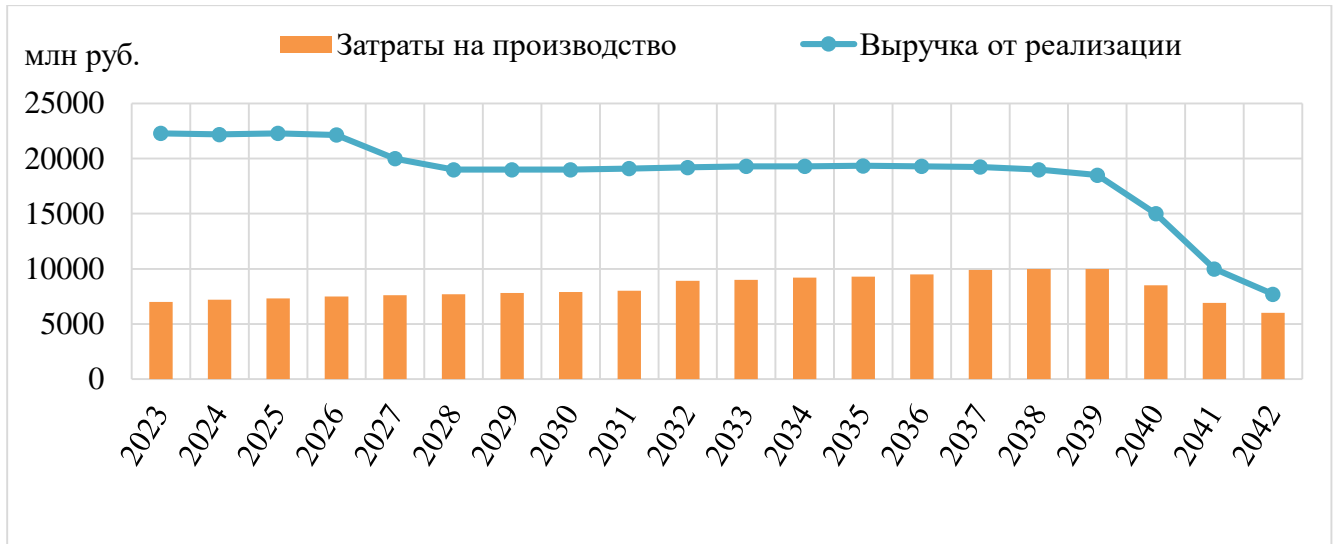


Рисунок 4.5 – Соотношение выручки от реализации готовой продукции и затрат на её производство

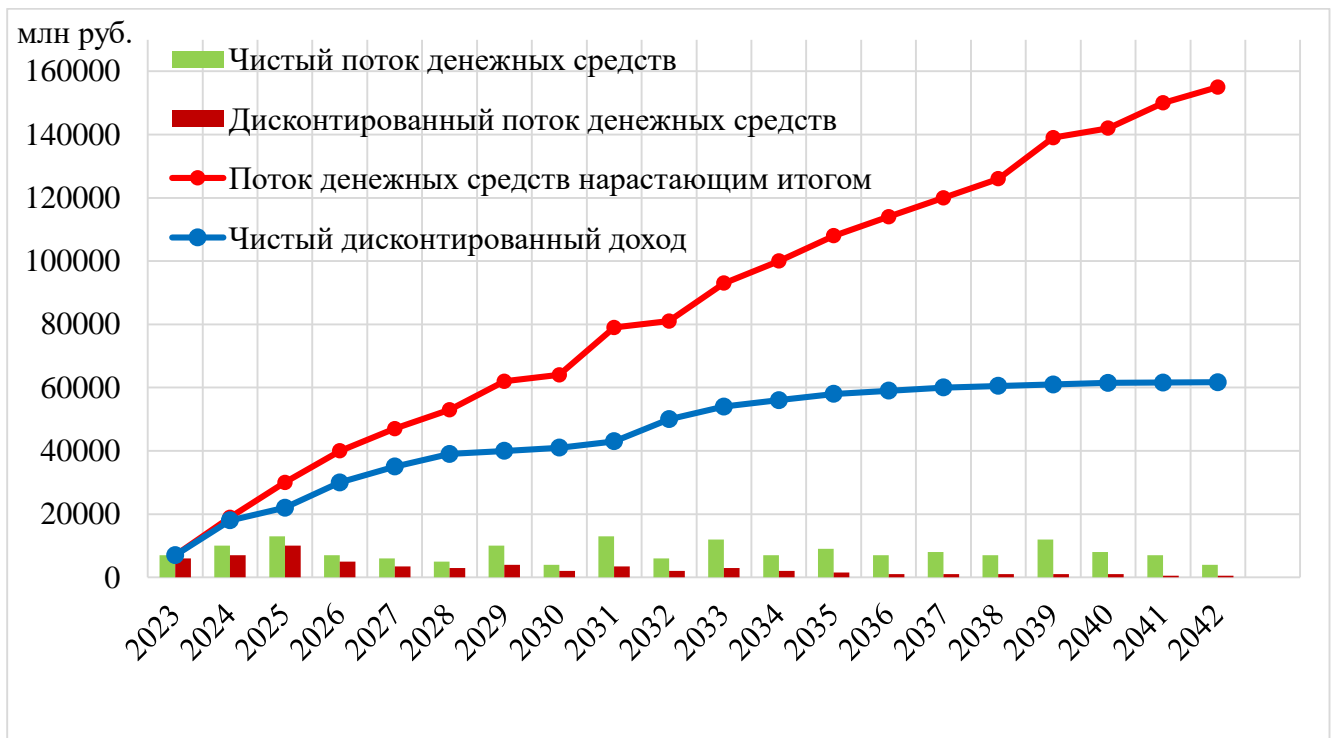


Рисунок 4.6 – Соотношение потоков денежных средств

При реализации инвестиционного проекта необходимо учитывать возникновение возможных рисков таких, как: изменение цены на реализацию готовой продукции, возможное падение производственных мощностей, увеличение текущих операционных расходов.

Для оценки влияния различных технико-экономических показателей на экономический результат необходимо провести анализ чувствительности показателей и выявить степень их влияния.

«В качестве интегральных показателей, характеризующих финансовый результат инвестиционного проекта использованы следующие:

- чистый дисконтированный доход;
- внутренняя ставка доходности;
- простой срок окупаемости;
- дисконтированный срок окупаемости.

В качестве основных варьируемых параметров приняты следующие:

- цена меди в медном концентрате;
- объем реализации медного концентрата;
- эксплуатационные затраты» [1].

По результатам оценки различных технологических решений по консервации и расконсервации временно нерабочего борта были определены две технологические схемы. Ключевое отличие этих схем – разный уровень заряжаемого взрывчатого вещества при подготовительных буровзрывных работах.

Для оценки экономического эффекта от применения технологических решений необходимо сравнить затраты на вскрышные работы при использовании каждой из предложенной схемы и затраты на отработку карьера без временно нерабочих бортов, с учетом коэффициента дисконтирования (4.12).

$$\mathcal{E} = \sum_{t=0}^{t=T} V_t * q_t - \sum_{t=0}^{t=T} V_t^{II} * q_t, \quad (4.12)$$

где  $\mathcal{E}$  – экономический эффект от применения ВНБ, руб.;

$V_t$  – объем вскрышных работ без использования ВНБ, м<sup>3</sup>;

$V_t^{II}$  – объем вскрышных работ с применением ВНБ, м<sup>3</sup>;

$q_t$  – коэффициент дисконтирования;

$t$  – порядковый номер года оценки.

Использование коэффициента дисконтирования необходимо для приведения разновременных экономических показателей к одному моменту. Этот коэффициент позволяет учесть изменение ценности инвестиций [86] (4.13)

$$q_t = \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (4.13)$$

где  $E$  – норма дисконта.

Год начала формирования ВНБ на карьере (4.14):

$$T = \frac{H_k(ctgy + ctga) - Ш_{в.ч}}{v_d ctgf} + 1, \quad (4.14)$$

где  $T$  – год начала формирования ВНБ, год;

$H_k$  – глубина карьера, м;

$v_d$  – скорость понижения добычных работ, м/год;

$y$  – угол борта карьера в конечном положении, град.;

$a$  – угол падения рудного тела, град.;

$f$  – угол наклона рабочего борта, град.;

$Ш_{в.ч}$  – ширина верхней части целика, м.

Отработка ВНБ предполагается гидравлическими экскаваторами с прямой лопатой, выемка взорванной горной массы осуществляется верхним черпаньем, автосамосвал устанавливается на один горизонт с экскаватором. Рассматриваемая технологическая схема предполагает применение скважин с нормальным уровнем заряда.

«Способ определения экономической эффективности временно нерабочего борта предлагаемой конструкции может быть значительно упрощен, что позволит с наименьшими затратами труда находить наиболее эффективные решения. Для этого поиск достаточно ограничить только периодом от начала консервации борта до его расконсервации, одновременно ограничивая решения только объемами целика, ограниченного со стороны массива горных пород конечными границами карьера, а со стороны выработанного пространства – временно нерабочим бортом» [109].

В рассматриваемый период времени затраты на выемку вскрыши составляют 171 руб./м<sup>3</sup>. Дисконтированные затраты на выемку того же объема вскрыши в проекте без применения ВНБ составляют 1737 млн руб.



Таблица 4.5 – Перераспределение объемов вскрышных работ при использовании временно нерабочего борта

Год эксплуатации	Перераспределение объемов вскрышных работ		Коэф. дисконтирования	Дисконтированные затраты, млн руб.	
	Объем консервации, тыс. м <sup>3</sup>	Объем расконсервации, тыс. м <sup>3</sup>		На консервацию	На расконсервацию
1	-1000		0,89	-152,19	
2	-1100		0,79	-148,60	
3	-1500		0,71	-182,12	
4	-1500		0,63	-161,60	
5	-1500		0,56	-143,64	
6	-2000		0,50	-171,00	
7	-2000		0,45	-153,90	
8	-1800		0,40	-123,12	
9		+8000	0,36		+492,48
10		+4400	0,32		+240,77
Всего	-12400	+12400		-1236,16	+733,25

По результатам проведенной оценки предлагаемый проект экономически рентабельный. Принятая ставка дисконтирования позволяет достичь окупаемости проекта в первый год эксплуатации. Применение технологической схемы с использованием временно нерабочего борта приводит к снижению дисконтированных затрат на вскрышные работы на 502,91 млн руб. Экономический эффект от применения проекта составляет порядка 29%.

При экономической оценке различных вариантов не имеет значение, к какому конкретному периоду времени отработки приводятся затраты, важно, чтобы это был один и тот же период для всех рассматриваемых проектов.

Время периода оценки ограничено точностью дисконтированных затрат. Основываясь на практике проектирования, проведенных исследований и опыта эксплуатации месторождений продолжительность одного периода принимается не более, чем 12-15 лет [21,28].

Относительная экономическая эффективность применения технологии временно нерабочего борта возрастает с увеличением угла падения рудной залежи и снижением её мощности.

Применение ВНБ экономически эффективно не только благодаря оптимизации порядка формирования и подвигания рабочей зоны. При консервации

на длительный период возможно получение экономического эффекта за счет размещения на нем временных сооружений, а также использования пространства под временные отвалы.

#### 4.4 Выводы по четвертой главе

1. Предложена методика определения наиболее рациональной технологической схемы консервации и последующей расконсервации временно нерабочего борта в условиях Михеевского месторождения медно-порфиритовых руд с учетом имеющегося на карьере оборудования.

Для выбора рациональной технологической схемы необходимо рассмотреть максимальное количество вариантов схем, отличающихся способом взрывания, конструкцией скважинных зарядов, типом используемых экскаваторов, а также способом погрузки взорванной горной массы. Сравнение схем осуществляется по таким критериям, как объем консервации породы в целике, скорость расконсервации, а также экономическим показателям.

Рассмотренная методика позволяет определить ряд возможных для реализации технологических схем, исключив из анализа подавляющее большинство нерациональных вариантов. Окончательное определение схемы конструкции ВНБ и его расконсервации необходимо проводить с учетом оценки экономических показателей.

2. Проведена экономическая оценка применения технологии и её рентабельности. Принятая ставка дисконтирования позволяет достичь окупаемости в первый год эксплуатации. Применение технологической схемы с использованием временно нерабочего борта приводит к снижению дисконтированных затрат на вскрышные работы на 502,91 млн руб. Экономический эффект от применения технологии составляет порядка 29%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, дано новое решение актуальной научно-практической задачи: обоснование параметров открытой геотехнологии, обеспечивающей выбор рациональной конструкции временно нерабочего борта, применяемого горнотранспортного оборудования и порядка расконсервации сформированного целика для оптимизации календарного графика при отработке крутопадающих рудных месторождений, имеющее важное значение для развития горнодобывающего комплекса России.

1. Проведен анализ методологического и практического опыта формирования и расконсервации временно нерабочих бортов на карьере, доказана эффективность применения технологии с использованием временно нерабочих бортов в рабочей зоне карьера с целью регулирования коэффициента вскрыши, интенсификации производительности, а также в условиях реконструкции горных предприятий.

2. Проанализированы причины и способы формирования временно нерабочего борта в карьерном поле, выявлены взаимосвязи основных конструктивных параметров ВНБ и их влияние на угол наклона. Так, при увеличении угла наклона ВНБ на 1 град. происходит рост объёма консервируемых вскрышных пород на 5%.

3. Выявлено, что нарушение темпов расконсервации ВНБ приводит к отставанию вскрышных работ, сокращению подготовленных запасов, снижению производительности, а в отдельных случаях к полной остановке добычных работ.

Доказана необходимость оптимизации параметров технологических схем расконсервации временно нерабочих бортов карьеров с учётом тенденции к увеличению производительности и темпов углубки карьеров, а также применения современного горнотранспортного оборудования.

4. Предложена методика оценки степени влияния параметров временно нерабочего борта и скорости его разноса на консервируемые объёмы пустой

породы, основанная на относительном анализе чувствительности основных параметров и обеспечивающая выбор его конструкции. Факторы, оказывающие наибольшее влияние на объемы консервации ранжированы по степени значимости – чем выше процентное выражение коэффициента эластичности, тем сильнее данный показатель оказывает влияние на консервируемые объёмы пород: ширина бермы на ВНБ – 98%; длина фронта горных работ на ВНБ – 75%; угол рабочего борта карьера – 72%; количество работающих одновременно экскаваторов на уступе – 49%; высота одного уступа на ВНБ – 39%; производительность экскаватора – 35%; скорость углубки добычных работ – 30%.

5. Доказано, что объемы консервации ВНБ и скорость его расконсервации напрямую зависят от производительности применяемого оборудования, область применения которого ограничивается конструкцией ВНБ. Определено, что при увеличении объема ковша экскаватора, используемого на расконсервации, на 1 м<sup>3</sup>, угол наклона уменьшается на 1,4 град. (для экскаваторов с объемом ковша от 1 до 4 м<sup>3</sup>), 0,6 град. (для экскаваторов с объемом ковша от 4 до 12 м<sup>3</sup>), 0,2 град. (для экскаваторов с объемом ковша от 12 до 22 м<sup>3</sup>), 0,12 град. (для экскаваторов с объемом ковша от 22 до 42 м<sup>3</sup>).

6. Предложена методика определения продолжительности расконсервации ВНБ, в которой учитывается конструкция нерабочего борта, количество оборудования и очередность его ввода в расконсервацию.

7. Установлена зависимость между числом одновременно задействованных экскаваторных комплексов при ликвидации временно нерабочего борта и временем его расконсервации, позволяющая обосновать выбор оптимального количества экскавационного оборудования с учетом требуемой скорости расконсервации. Полученная зависимость является степенной функцией (величина достоверности R<sup>2</sup> составляет 0,9791).

8. При увеличении одновременно используемых единиц техники с 2 до 4 продолжительность расконсервации уменьшается в 2 раза, однако при дальнейшем наращивании числа оборудования время снижается незначительно. Так, при

изменении количества экскаваторов с 10 до 20 штук срок расконсервации сокращается на 18%.

9. Доказано, что при определении рациональной продолжительности расконсервации ВНБ необходимо определять время подготовки горизонта, зависящее от параметров экскаваторного блока и скорости его отработки.

10. Определено, что для получения оптимального календарного графика горных работ необходим баланс между объемами консервации и скоростью расконсервации ВНБ. Использование комбинированных технологических схем расконсервации с применением гидравлических экскаваторов с прямой и обратной лопатой и их чередованием на горизонтах является одним из способов регулирования календарного графика.

12. Выбор технологических схем ведения буровзрывных работ при различных параметрах временно нерабочего борта осуществлен по размеру ширины развала взорванной массы. Рассмотренные однорядные схемы представлены от меньшей ширины к большей: схема с вертикальными скважинами и уменьшенным объемом заряда; схема с нормальным уровнем заряда; схема с увеличенным уровнем заряда; схема с наклонными скважинами. Применение многорядных схем (2-5 рядов) возможно на ВНБ с небольшим углом откоса и достаточно широкими площадками. При увеличении количества рядов с 2 до 3 минимальная ширина площадки увеличивается на 13%, угол откоса ВНБ уменьшается на 5 град; при увеличении количества рядов с 3 до 4 минимальная ширина рабочей площадки увеличивается на 9%, угол откоса ВНБ уменьшается на 3 град; при увеличении количества рядов с 4 до 5 минимальная ширина рабочей площадки увеличивается на 11%, угол откоса ВНБ уменьшается на 2 град.

13. Предложена методика обоснования параметров открытой геотехнологии при разработке крутопадающих рудных месторождений с консервацией вскрышных пород во временно нерабочем борту и выбора рациональной технологической схемы его расконсервации с учетом применяемого комплекса рабочего оборудования и технологии производства буровзрывных работ.

Разработан алгоритм выбора конструкции ВНБ и схемы расконсервации с учетом способа его формирования, объемов консервации и скорости расконсервации, типа и количества оборудования, а также способа ведения взрывных работ.

14. Предложена методика определения наиболее рациональной технологической схемы консервации и последующей расконсервации временно нерабочего борта в условиях Михеевского карьера с учетом имеющегося оборудования.

Использование разработанной методики позволило определить ряд возможных для реализации технологических схем, исключив из анализа подавляющее большинство нерациональных вариантов. Окончательное определение схемы конструкции ВНБ и его расконсервации необходимо проводить с учетом оценки экономических показателей.

15. Проведена экономическая оценка использования технологических схем формирования и расконсервации временно нерабочего борта, приводящая к снижению затрат на вскрышные работы на 502,91 млн руб.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Алтушкин И.А. Экономическая оценка инновационных решений проекта освоения Михеевского месторождения медно-порфировых руд / И.А. Алтушкин, Ю.А. Король, А.Е. Череповицын // Горный журнал. – 2012. – №8. С.113-116.
2. Алтушкин, И.А. Опыт освоения месторождений медно-порфирового типа на Урале / И.А. Алтушкин, В.В. Левин, А.В. Сизиков, Ю.А. Король // Записки Горного института. – 2017. – № 228. С. 641-648.
3. Андросов, А.Д. Определение контуров и этапов отработки глубоких карьеров: Учеб. Пособие / А.Д. Андросов – Якутск: АН РС(Я), ин-т рег. эконом., (Якутский филиал изд-ва СО РАН), 2001. – 46 с.
4. Андросов, А.Д. Развитие технологии реконструкции глубоких карьеров Якутии / А.Д. Андросов. – Новосибирск: Наука СИФ РАН, 1991. – 103 с.
5. Андросов, А.Д. Технология разработки глубоких карьеров Якутии / А.Д. Андросов. – Новосибирск: Наука СИФ РАН, 1996. – 217 с.
6. Анистратов, Ю.И. Технология открытых горных работ / Ю.И. Анистратов. – Москва: Недра, 2009. – 236 с.
7. Арсентьев, А.И. Планирование развития горных работ в карьерах / А.И. Арсентьев, Г.А. Советов, В.С. Хохряков // Москва: Недра. – 1972. – 152 с.
8. Арсентьев, А.И. Разработка месторождений твёрдых полезных ископаемых открытым способом / А.И. Арсентьев. – СПб.: РИЦ СПГГИ, 2010. – 117 с.
9. Арсентьев, А.И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей / А.И. Арсентьев – Москва: Недра, 1981. – 278 с.
10. Арсентьев, А.И. Определение производительности и границ карьеров / А.И. Арсентьев. – Москва: Недра, 1970. – 320 с.
11. Арсентьев, А.И. Определение производительности и границ карьеров / А.И. Арсентьев. – Москва: Недра, 1970. – 320 с.

12. Арсентьев, А.И. Основы теории определения производительности и границ карьеров: дис. ... докт. техн. Наук / Арсентьев А.И. – Кривой Рог, 1959. – 193 с.
13. Арсентьев, А.И. Производительность карьеров: монография / А.И. Арсентьев; Санкт-Петербург. СПбГИ им. Г.В. Плеханова. СПб.: СПГГИ(ТУ), 2002. – 85 с.
14. Арсентьев, А.И. Развитие горных работ в карьерном пространстве / А.И. Арсентьев. – Санкт-Петербург: ЛГИ, 1994. – 104 с.
15. Арсентьев, А.И. Усреднение эксплуатационного коэффициента вскрыши за счет оставления временного нерабочего борта / А.И. Арсентьев, С.Я. Арсентьев – Москва: Недра, 1972. – 151 с.
16. Арсентьев, А.И. Усреднение эксплуатационного коэффициента вскрыши за счет оставления временно нерабочего борта / А.И. Арсентьев, С.Я. Арсентьев // Совершенствование техники и технологии горного производства. КГРИ. Москва: «Недра». – 1964. – №22. – С. 138-143.
17. Арсентьев, А.И. Динамика параметров и показателей карьера в процессе работы со стабильной производительностью по горной массе / А.И. Арсентьев, Т.А. Проломова, Р.А. Тихонов // Изв. вузов. Горный журнал. – 2001. – № 1. – С. 26-30.
18. Арсентьев, А.И. Законы формирования рабочей зоны карьера / А.И. Арсентьев. – Ленинград: Ленинградский горный ин-т., 1986. – 56 с.
19. Арсентьев А.И. Планирование развития горных работ в карьерах / А.И. Арсентьев – Москва: Недра, 1972. – 151 с.
20. Аудиторская фирма «Авдеев и К<sup>о</sup>»: аудиторские и бухгалтерские услуги. – Москва. – URL: <https://www.audit-it.ru/> (дата обращения 04.08.2023). – Текст: электронный.
21. Бесимбаев, Н.Г. Оптимизация этапов развития карьера / Н.Г. Бесимбаев, А.А. Нагибин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2013. – Т. 12. – № 8. – С. 112-119.



22. Бурмистров, К.В. Выбор оптимального направления развития горных работ в период интенсивной разработки месторождения «Малый Куйбас» / К.В. Бурмистров, А.А. Колонюк, В.А. Кидяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – №7. – С. 302-306.

23. Бурмистров, К.В. Обоснование параметров этапа открытых горных работ в переходные периоды разработки крутопадающих месторождений / К.В. Бурмистров, **М.П. Овсянников** // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – №6. – С. 20-28.

24. Бурмистров, К.В. Процессы открытых горных работ: Учеб. Пособие / К.В. Бурмистров, В.Ю. Заляднов – Магнитогорск: МГТУ, 2014. – 222 с.

25. Бурмистров, К.В., Колонюк А.А. Интенсификация горных работ на ограниченных участках рабочей зоны карьеров / К.В. Бурмистров, А.А. Колонюк // Сб. научных трудов «Освоение месторождений полезных ископаемых». Магнитогорск, МГТУ, 2004. – 223 с.

26. Василевский В.О. Обоснование технологии формирования временно нерабочего борта при отработке мульдообразных залежей угля: диссертация ... канд. тех. наук. / В.О. Василевский. – Москва, 2007. – 130 с.

27. Вилкул, Ю.Г. О проблеме отставания вскрышных работ в железорудных карьерах / Ю.Л. Вилкул, С.А. Луценко, О.Ю. Близнюкова // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – №3. – С. 92-96.

28. Власов, А.В. К обоснованию условий перехода на циклично-поточную геотехнологию в глубоких карьерах / А. В. Власов, А. Г. Шадрунов, С. Я. Кливер, Ю. А. Лукьянов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – № 4. – С. 428-440.

29. Вокин, В.Н. Обоснование технологических параметров временно нерабочих бортов карьеров: дис. ... канд. тех. наук / В.Н. Вокин. – Красноярск, 2001. – 196 с.

30. Гавришев, С.Е. Обоснование организационно технологических методов повышения надежности и эффективности работы карьеров: дис. ... док. тех. наук / С.Е. Гавришев. – Магнитогорск, 2002. – 306 с.

31. Гавришев, С.Е. Обоснование рациональной последовательности формирования рабочей зоны карьеров при разработке крутопадающих месторождений: дис. ... канд. тех. наук / С.Е. Гавришев. – Магнитогорск, 1990. – 164 с.

32. Гавришев, С.Е. Определение количества и порядка ввода горнотранспортного оборудования при расконсервации временно нерабочих бортов / С.Е. Гавришев, **М.П. Овсянников** // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 24. – С. 122-128.

33. Гавришев, С.Е. Организационно-технологические методы повышения надежности и эффективности работы карьеров / С.Е. Гавришев; Магнитогорск. МГТУ им. Г.И. Носова, 2002. – 231 с.

34. Гавришев, С.Е. Особенности конструирования и расконсервации временно нерабочих бортов / С. Е. Гавришев, А. А. Колонюк, К. В. Бурмистров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – № 02. – С. 272-275.

35. Галкин, В.А. Технологические основы проектирования и планирования грузопотоков на рудных карьерах с автомобильным транспортом: дис. ... док. тех. наук / В.А. Галкин. – Магнитогорск, 1987. – 290 с.

36. Глебов, И.А. Обзор схем вскрытия глубоких горизонтов алмазородных карьеров в фокусе технологии доработки запасов тоннельными съездами / И.А. Глебов. // Проблемы недропользования. – 2020. – №2. – С. 61-72.

37. Дерябин, А.А. Разработка технологии вскрышных работ широкими панелями при использовании мощных экскаваторно-автомобильных комплексов: диссертация ... канд. тех. наук. / А.А. Дерябин. – Москва, 1985. – 178 с.

38. Донченко, Т.В. Обоснование и разработка технологии приведения в рабочее положение временно законсервированных бортов карьера: дис. ... канд. тех. наук / Т.В. Донченко. – Санкт-Петербург, 2002. – 141 с.

39. Зырянов, И.В. Определение параметров буровзрывных работ на кимберлитовых карьерах криолитозоны: учебное пособие / И.В. Зырянов, И.Ф. Бондаренко, С.Н. Жариков. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2019. – 96 с.

40. Кантемиров В.Д. Основные тенденции производства железорудного сырья в России / В.Д. Кантемиров, Р.С. Титов, А.М. Яковлев // Горная Промышленность. – 2018. – №1. – С. 72-74.

41. Колибаба, В.Л., Определение этапов вскрытия и отработки глубоких горизонтов карьеров для поддержания проектной мощности / В.Л. Колибаба, Л.Я. Станиславский // Горный журнал. – 1981. – № 3. – С. 34-37.

42. Колонюк, А.А. Обоснование конструкций и рациональной последовательности расконсервации временно нерабочих бортов карьеров: дис. ... канд. тех. наук / А.А. Колонюк – Магнитогорск, 2005. – 130 с.

43. Корякин, А.И. Определение основных технологических параметров карьера при проектировании / А. И. Коряков, А. В. Селюков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 2. – С. 66-58.

44. Косолапов, А.И. Исследование возможности вариацией производственной мощностью рудных карьеров при разработке крутопадающих месторождений / А.И. Косолапов, А.И. Пташник, Ю.П. Пташник // ГИАБ. – 2013. – № 9. – С. 55-61.

45. Кутузов, Б.Н. Взрывная технология разработки нагорных месторождений крутыми слоями / Б.Н. Кутузов, Ю.К. Итаров // Горный журнал. – 1991. – №.2. – С. 14-16.

46. Кутузов, Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Часть 2, Взрывные работы в горном деле и промышленности / Б.Н. Кутузов. – Москва: Горная книга, 2011. – 512 с.

47. Кутузов, Б.Н. Разрушение горных пород взрывом (взрывные технологии в промышленности) ч. II: Учебник для вузов. 3-е издание, переработанное и дополненное / Б.Н. Кутузов. – Москва: МГГУ, 1994. – 448 с.

48. Лапаев, В.Н. Разработка методики определения границ разрезов в условиях рынка: дис. ... канд. тех. наук / В.Н. Лапаев – Челябинск, 1997. – 118 с.

49. Линеv, В.П. Определение параметров рабочей зоны карьера с участками временно нерабочего борта / В.П. Линеv // Горный журнал. – 1986. – №5. – С. 15-17.

50. Линеv, В.П. Определение результивирующего угла наклона рабочего борта карьера / В.П. Линеv // Горный журнал. – 1987. – №10. – С. 29-31.

51. Линеv, В.П. Ширина рабочих площадок уступов и возможная скорость углубления горных работ / В.П. Линеv // Горный журнал. – 1978. – № 6. – С. 31-33.

52. Литвин, О.И. Анализ методик расчета производительности карьерных гидравлических экскаваторов / О.И. Литвин, А.А. Хорешок, Д.М. Дубинки, С.О. Марков, Д.В. Стенин, М.А. Тюленев // Горная промышленность. – 2022. № 5. – С. 112–120.

53. Мельников, Н.В. Совершенствование методов проектирования и планирования горных работ в карьерах / Н.В. Мельников, И.А. Турчанинов, Б.К. Оводенко // Ленинград: Наука, 1981. – 278 с.

54. Мельников, Н.Н. Технология применения и параметры карьерных гидравлических экскаваторов / Н.Н. Мельников, Д.Г. Неволин, Л.С. Скобеев // Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1992. – 215 с.

55. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (Вторая редакция) / Мин-во экон. РФ, Мин-во фин. РФ, ГК по строительству, архитектуре и жилищной политике; руководитель авторского коллектива: Косов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. – М.: ОАО «НПО» «Изд-во «Экономика», 2000. – 421 с.

56. Министерство экономического развития Российской Федерации: официальный сайт. – Москва. – URL: <https://www.economy.gov.ru/> (дата обращения 14.09.2023). – Текст: электронный.

57. Нормативный справочник по буровзрывным работам / Ф.А. Авдеев, В.Л. Барон, Н.В. Гуров, В.Х. Кантор. – Москва.: Недра, 1986, – 511 с.

58. Оводенко, Б.К. Временные нерабочие борта в карьерах / Б.К. Оводенко, С.С. Аршинов – Ленинград: Наука, 1977. – 114 с.

59. Определение главных параметров карьера / А. Арсентьев, О. Шпанский, Г. Константинов, В. Бложе. – Москва: Недра, 1976. – 216 с.

60. Патент №2400628 Российская Федерация, МПК Е 21 С 41/26. Способ формирования и разноса временно нерабочего борта / Холодняков Г.А., Андриевский П.В.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет)». – 2009124768/03; заявл. 29.06.2009; опубл. 27.09.2010.

61. Патент №2425221 Российская Федерация, МПК Е 21С 41/26. Способ расконсервации временно нерабочего борта карьера / Косолапов А.И., Пташник А.И., Пташник Ю.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет». – 2010107653/03; заявл. 02.03.2010; опубл. 27.07.2011.

62. Патент №2632604 Российская Федерация, МПК Е 21С 41/26. Способ формирования и расконсервации крутых временно нерабочих бортов при разработке глубокозалегающих месторождений / Саканцев Г.Г., Яковлев А.В., Переход Т.М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН). – 2016117665; заявл. 04.05.2016; опубл. 06.10.2016.

63. Патент №2652234 Российская Федерация, МПК Е 21С 41/26. Способ открытой разработки наклонных месторождений с применением временно нерабочих бортов / Яковлев В.Л., Саканцев Г.Г., Яковлев А.В., Переход Т.М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное

учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН). – 2017113248; заявл. 17.04.2017; опубл. 25.04.2018.

64. Патент №2738148 Российская Федерация, МПК Е 21С 41/26. Способ открытой разработки глубокозалегающих месторождений округлой формы / Саканцев Г.Г.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН). – 2019122806; заявл. 19.07.2019; опубл. 08.12.2020.

65. Патент №2754753 Российская Федерация, МПК Е 21С 41/32. Способ рекультивации нерабочих бортов карьеров / Тальгамер Б.Л., Галайда К.П.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»). – 2021100173; заявл. 12.01.2021; опубл. 07.09.2021.

66. Пешков, А.А. Управление развитием горных работ на глубоких карьерах: Монография. – Москва: ИПКОН РАН, 1999. - 230 с.

67. Подэрни, Р.Ю. Обоснование параметров мощных гидравлических экскаваторов для их эффективной эксплуатации в условиях низких температур / Р.Ю. Подэрни, Х. Кельш. – Магнитогорск: МГТУ, 2008. – 146 с.

68. Проектирование горных работ при формировании карьерного пространства зонами концентрации / В.А. Галкин, В.Н. Сидоренко и др. – Магнитогорск: Изд-во МГМИ, 1991, – 57 с.

69. Проектирование карьеров / В. Хохряков, А. Шелест, Г. Молтусов, А. Кмытовенко. – Москва: Недра, 1969. – 216 с.

70. Решетняк, С.П. Календарное планирование при разработке месторождения с использованием временно нерабочих бортов / С.П. Решетняк // Совершенствование методов проектирования и планирования горных работ в карьере под ред. Н.В. Мельникова. – Ленинград. Наука, 1981. – С. 166-173.

71. Решетняк, С.П. Основные проблемы проектирования карьеров нового поколения / С.П. Решетняк. // Записки Горного института. – 2012. – Т.197. – С. 154-158.
72. Решетняк, С.П. Регулирование вскрышных работ в глубоких карьерах // С.П. Решетняк, В.И. Усынин, А.Л. Грицай. – Ленинград: Недра, 1982. – 188 с.
73. Ржевский, В.В. Научные основы проектирования карьеров / В.В. Ржевский, М.Г. Новожилов, Б.П. Юматов. — Москва: Недра, 1971. – 600 с.
74. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Часть 1, Производственные процессы / В.В. Ржевский. – Москва: Недра, 1985, – 639 с.
75. Ржевский, В.В. Режим горных работ при открытой добыче угля и руды / В.В. Ржевский – Москва: Углетехиздат, 1957. – 200 с.
76. Ржевский, В.В. Режим горных работ при открытой добыче угля и руды / В.В. Ржевский. – Москва: Углетехиздат, 1957. – 200 с.
77. Рубинштейн С.Б., Линев В.П., Трифонов Ю.В., Шпанский О.В. Оптимизация границ карьеров при разработке крутопадающих месторождений / С. Рубинштейн, В. Линев, Ю. Трифонов, О. Шпанский. // Горный журнал. – 2001. – №5. – С. 19-20.
78. Рубинштейн, С.Б., Методика расчета параметров временных целиков / С.Б. Рубинштейн // Сб. научных трудов «Проектирование предприятий горнорудной промышленности». Гипромез. – 1977. – №1. – С. 70-73.
79. Селянин, В.Г. Интенсификация горных работ в глубоких карьерах / В.Г. Селянин – Москва: Недра, 1977. –193 с.
80. Сидоренко, В.Н. Повышение эффективности эксплуатации глубоких карьеров с автомобильным транспортом формированием зон концентрации горных работ: дис. ... канд. тех. наук / В.Н. Сидоренко. – Ленинград, 1987. – 188 с.
81. СНИП 2.05.07-91\* Промышленный транспорт. Госстрой России – Москва: ФГУП ЦПП, 2007. – 111 с.
82. Справочник взрывника / Под общей ред. Б.Н. Кутузов, В.М. Скоробогатов, И.Е. Ерофеев и др. – Москва.: Недра, 1988, – 511 с.

83. Справочник. Открытые горные работы / Сост. К.Н. Трубецкой, М.Г. Потапов, К.Е. Веницкий, Н.Н. Мельников и др. – Москва: Горное бюро, 1994, – 590 с.
84. Технологические параметры глубоких карьеров / М. Новожилов, А. Маевский, С. Бондарь, А. Дриженко. – Москва: Недра, 1982. – 175 с.
85. Технологические параметры глубоких карьеров / М.Г. Новожилов, А.М. Маевский, С.А. Бондарь, А.Ю. Дриженко. – Москва: Недра, 1982. – 175 с.
86. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. Москва: Экономика, 1969. – 16 с.
87. Трубецкой, К.Н. Комплексы мобильного оборудования на открытых горных работах / К.Н. Трубецкой, Е.Р. Леонов, Ю.Б. Панкевич // Москва: Недра, 1990. – 225 с.
88. Трубецкой, К.Н. Проектирование карьеров. В 2-х т. / К.Н. Трубецкой, Г.А. Краснянский, В.В. Хронин В.В. – Москва: изд-во Академии горных наук, 2001. – 535 с.
89. Трубецкой, К.Н. Снижение текущего коэффициента вскрыши в процессе технического переоснащения карьеров / К.Н. Трубецкой, Н.П. Сеинов, А.И. Шендеров // Открытые горные работы. – 2000. – №2. – С. 7-13.
90. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых" Зарегистрирован Министерством юстиции РФ 21.12.2020 г., № 61651.
91. Федорко, В.П. Горно-геометрический анализ карьерных полей для пологих горизонтальных залежей при транспортной или комбинированной системах разработки / В.П. Федорко, Ю.Г. Рославцева // Горный журнал. Известия ВУЗов., – 2010. – № 5. – С. 27-32.
92. Фомин, С.И. Анализ чувствительности параметров рудных карьеров на предварительной стадии проектирования / С.И. Фомин, Е.И. Базарова Е.И. // Записки Горного института. – 2015. Том 216. – С. 74-78.



93. Фомин, С.И. Обоснование оптимальных технико-экономических параметров карьера при этапной разработке рудных крутопадающих месторождений / С.И. Фомин, **М.П. Овсянников** // Записки Горного института. – 2022. – 10 с. Doi:10.31897/PMI.2022.73

94. Фомин, С.И. Оценка бортового содержания полезного компонента при проектировании открытой разработки рудных месторождений / С.И. Фомин, **М.П. Овсянников**, А.К. Лобынцев // Рациональное освоение недр. – 2021. – № 2. – С. 56-60.

95. Фомин, С.И. Методика сравнения вариантов открытой разработки рудных крутопадающих месторождений этапами / С.И. Фомин, **М.П. Овсянников** // Естественные и технические науки. – 2019. – №5. – С. 145-148.

96. Фомин, С.И. Особенности технологи открытой разработки крутопадающих рудных месторождений этапами / С.И. Фомин, **М.П. Овсянников** // Маркшейдерия и недропользование. – 2020. – №1. – С. 41-44.

97. Холодняков, Г. А. Управление режимом горных работ и углом откоса рабочего борта карьера / Г. А. Холодняков, Е. В. Логинов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 2. – С. 71-74.

98. Холодняков, Г.А. Проектирование карьеров при разработке комплексных месторождений / Г.А. Холодняков. – Санкт-Петербург: РИЦ Национального минерально-сырьевого университета «Горный», 2013. – 192 с.

99. Хохряков, В.С. Открытая разработка месторождений этапами / В.С. Хохряков // Горный журнал. – 1965. – №10. – С. 19-26

100. Хохряков, В.С. Поэтапное развитие горных работ на карьерах / Хохряков В.С., Церенщиков П.Т. – Москва: Цветметинформация, 1968. – 54 с.

101. Чаадаев, А.С. Состояние и перспективы развития горнообогатительных технологий на алмазодобывающих предприятиях ак «АЛРОСА» (ПАО) /

А.С. Чаадаев, И.В. Зырянов, И.Ф. Бондаренко // Горная промышленность. – 2017. – №2. – С. 6-13.

102. Чаплыгин, Н.Н. / Исследование параметров временно нерабочего борта при отработке карьеров этапами [Текст] / Н.Н. Чаплыгин, Э.Ю. Островский, А.А. Попов // Технологические и экономические аспекты развития открытой разработки месторождений. – Москва, 1974. – С. 55-69.

103. Черепщиков, П.Т. Рациональное расположение временных бортов карьеров / П.Т. Черепщиков // Известия вузов. Горный журнал. – 1967. – № 5. – С. 14-21.

104. Чунуев, И.К. Определение технологических параметров призмы обрушения уступов, отвалов и дорог / И.К. Чунуев, Ю.М. Левкин, Ж. Болотбеков // Горные науки и технологии. – 2021. – № 6. С. 31-41.

105. Шпанский, О.В. Закономерности формирования рабочей зоны карьера и использование их в графоаналитических методах определения производительности карьера / О.В. Шпанский // Ленинград: Наука. – 1981. – С. 144-151.

106. Шпанский, О.В. Развитие основ горно-геометрического моделирования карьеров при проектировании разработки крутопадающих месторождений: диссертация ... д-ра. тех. наук: 05.15.03 / Шпанский Олег Васильевич. – Санкт-Петербург, 1999. – 325 с.

107. Юматов, Б.П. Строительство и реконструкция рудных карьеров / Б.П. Юматов, Ж.В. Бунин. – Москва: Недра, 1970. – 240 с.

108. Яковлев, В. Л. Регулирование режима горных работ глубоких карьеров большой протяженности с применением многоступенчатых крутонаклонных временно нерабочих бортов / В.Л. Яковлев, Г.Г. Саканцев, А.В. Яковлев, Т.М. Переход // Проблемы недропользования. – 2018. – № 4. – С. 5-12.

109. Яковлев, В. Л. Регулирование режима горных работ глубоких карьеров большой протяженности с применением комбинированных временно нерабочих бортов / В.Л. Яковлев, Г.Г. Саканцев, А.В. Яковлев, Т.М. Переход // Проблемы недропользования. – 2018. – № 1. – С. 18-25.

110. Яковлев, В.Л. Исследование переходных процессов - новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов: монография / В.Л. Яковлев; Екатеринбург. УрО РАН, 2019. – 283 с.

111. Incremental open-pit mining of steeply dipping ore deposits / S. Fomin, V. Ivanov, A. Semenov, **M. Ovsyannikov**. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2020. – №11. – pp. 1306-1311.

112. Morales, N. Development and analysis of a methodology to generate operational open-pit mine ramp design automatically. / Nelson Morales, Pierre Nancel-Penard, Nelson Espejo. // Optimization and Engineering. – 2023. – №24. – pp. 711-741.

113. Nancel-Penard, P. Direct block scheduling model considering operational space requirement for strategic open-pit mine production planning. / P. Nancel-Penard, E.A. Jelvez. – Optimization and Engineering. – 2023. – URL: <https://doi.org/10.1007/s11081-023-09875-z>

114. Nunnally S.W. Construction methods and management / S.W Nunnally. – Pearson Prentice Hall. 2007. – 575 p.

115. USGS Publications Warehouse: сайт. – 2024. URL: <https://pubs.usgs.gov/> (дата обращения 23.05.2024).

116. Yarmuch, Juan L. A model for open-pit pushback design with operational constraints. / Juan L. Yarmuch, Marcus Brazil, Hyam Rubinstein, Doreen A. Thomas. // Optimization and Engineering. – 2023. – №24. – pp. 623-639.