

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

УДК 622.271

на правах рукописи

ӘБЕН ЕЛДОС

**Инновационные методы расконсервации временно нерабочих бортов
глубоких карьеров**

6D070700 – Горное дело

Диссертация на соискание ученой степени
доктора философии (PhD)

Научные консультанты
Молдабаев С.К., доктор
технических наук
профессор

Дриженко А.Ю., доктор
технических наук
профессор

Республика Казахстан
Алматы, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	4
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	5
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ РАСКОНСЕРВАЦИИ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧЕГО БОРТА В ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ	14
1.1 Анализ решения проблем поэтапной разработки крутопадающих месторождений	14
1.2 Современные тенденции по расконсервации временно нерабочих бортов	19
1.3 Обоснование предлагаемой технологии расконсервации временно нерабочего борта	23
1.4 Выводы по главе	32
2 РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ РАСКОНСЕРВАЦИИ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧЕГО БОРТА В ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ	33
2.1 Обоснование рациональных транспортных схем при расконсервации временно нерабочих уступов	33
2.2 3D модель поэтапных контуров карьера и метод оптимизации коэффициента вскрыши	42
2.3 Алгоритм решения задачи нелинейного оптимального управления при оптимизации контуров этапов отработки карьерных полей округлой формы	48
2.4 Моделирование расконсервации временно нерабочего борта крутонаклонными слоями	50
2.5 Выводы по главе	59
3 АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ РАСКОНСЕРВАЦИИ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧЕГО БОРТА НИЖЕ ГРАНИЦЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА КАЧАРСКОМ КАРЬЕРЕ	60
3.1 Предпосылки расконсервации временно нерабочего борта Северного участка поперечными панелями	60
3.2 Прогнозирование производительности экскаваторно-автомобильных комплексов при отработке уступов поперечными панелями в крутонаклонных слоях	71
3.3 Установление поэтапных объемов вскрыши и руды в границах крутонаклонных слоев	79
3.4 Предлагаемый календарный график производства горных работ при реализации технологии отработки уступов пород скальной вскрыши и руды поперечными панелями в крутонаклонных слоях	89

3.5	Технология применения драглайнов в комплексе с железнодорожным транспортом при отработке пород рыхлой вскрыши	98
3.6	Выводы по главе	99
4	РЕКОМЕНДУЕМАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕНСИВНОГО ПРОВЕДЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ КАРЬЕРОВ ПРИ ЗНАЧИТЕЛЬНОМ ОТСТАВАНИИ ВСКРЫШНЫХ РАБОТ	106
4.1	Уровень технологического развития горнотранспортной системы отечественных карьеров	106
4.2	Апробация нового порядка формирования рабочей зоны при углубочной кольцевой системе разработки с использованием мощных экскаваторно-автомобильных комплексов	107
4.3	Апробация нового порядка формирования рабочих зон при углубочной однобортной продольной системе разработки	111
4.4	Апробация нового порядка формирования рабочих зон при углубочной двухбортной продольной системе разработки	117
4.5	Выводы по главе	122
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	122
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	127
	Приложение А	134

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие нормативные документы:

1. Закон Республики Казахстан «О науке» от 18.02.2011 г. № 407-IV ЗРК;
2. Правила присуждения ученых степеней от 31 марта 2011 года № 127;
3. Государственный общеобязательный стандарт образования Республики Казахстан послевузовское образование. Докторантура. Основные положения ГОСО РК 5.04.034 –2011;
4. ГОСТ 8.417-2002 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ);
5. Кодекс Республики Казахстан О Недрах и Недропользовании;
6. Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы;
7. СП РК 3.03-122-2013 Промышленный транспорт;
8. СН РК 3.03-22-2013 Промышленный транспорт.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ВНБ – временно нерабочий борт;

ЭАК – экскаваторно-автомобильный(е) комплекс(ы).

ЭЖК – экскаваторно-железнодорожный(е) комплекс(ы).

ЦПТ – циклично-поточная технология.

ДПП – дробильно-перегрузочный пункт.

БВР – буровзрывные работы.

NPV (ЧДС) – net present value (Чистая приведённая стоимость)

ТОО – товарищество с ограниченной ответственностью

АО – акционерное общество

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяются следующие термины с соответствующими определениями.

Рабочая зона - часть рабочего борта, в которой выполняются основные технологические процессы открытых горных работ;

Рабочий борт карьера - боковая ограничивающая поверхность карьера, образованная совокупностью откосов и площадок уступов, где производится выемка и погрузка горной массы;

Текущие запасы - вскрываемые запасы в пределах всей или части длины рабочего борта в границах этапа отработки в течение текущего года

Относительно долговременные запасы – вскрываемые запасы руды в пределах этапа отработки за 2-3 года.

Поэтапный коэффициент вскрыши - отношение объема вскрышных пород, фактически перемещаемых из массива в отвалы в течении определенного этапа к фактически добываемому в течении того же этапа объему полезного ископаемого;

Среднеэксплуатационный коэффициент вскрыши – расчетное отношение объема вскрышных пород к объему полезного ископаемого за весь период эксплуатации карьера;

Текущий коэффициент вскрыши – отношение объема вскрышных пород, фактически перемещаемых из массива в отвалы за какой-либо период времени (месяц, квартал, год) к фактически добываемому за этот же период времени объему полезного ископаемого;

Динамическое программирование – способ решения сложных задач путём разбиения их на более простые подзадачи.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка современного состояния решаемой научной или научно-технологической проблемы (задачи). При открытой разработке крутопадающих месторождений управление объемами выемки пород вскрыши может вестись путем отработки карьерного поля участками, очередями или этапами с формированием временно нерабочих бортов (ВНБ). В последующем перемещение рабочей зоны на более глубокие горизонты сопряжено с усложнением производства горных работ. При этом для уменьшения текущих объемов выемки вскрыши ширина рабочих площадок резко сокращается; часть вскрышных уступов произвольно консервируется.

Существующая практика создания временно нерабочих бортов (ВНБ) для регулирования достаточных объемов выемки вскрышных пород значительно усложняет организацию горных работ, особенно при разработке крутопадающих месторождений округлой (овальной) формы, требует создания ограждающих сооружений для обеспечения безопасных условий работы оборудования и людей от случайно падающих с высоких откосов и разделяющихся при взрывах кусков породы и имеет свои изъяны в рыночных условиях при частом изменении спроса и цен на товарную продукцию [1-2]. Колебания спроса на минеральное сырье зачастую срывает сроки консервации и расконсервации отдельных участков вскрышной зоны и затрудняет поддержание необходимых размеров действующей части рабочей зоны глубоких карьеров, необходимой для получения запланированного объема добычи полезного ископаемого и безопасной реализации принятого календарного графика горных работ [3].

Практика разработки глубоких карьеров показывает, что при понижении добычных работ требуется расконсервация ранее погашенных вскрышных уступов по сложным и малопроизводительным технологиям. Анализ проектных и фактических параметров систем разработки на действующих крупных предприятиях, таких как Криворожские карьеры [4], показывает, что ширина рабочих площадок составляет 30-40 м вместо 60-80 м по проектам. Обеспеченность готовыми к выемке запасами – 0,8-1,6 месяцев вместо 2,5 по нормам, при этом размеры ВНБ значительно превышают проектные.

Основание и исходные данные для разработки темы. Данная работа является продолжением научных исследований, выполненных во время обучения в магистратуре. Основанием для выполнения диссертационной работы является поиск новых методов по расконсервации временно нерабочих бортов карьера. Исходные данные для разработки темы взяты у ТОО «Ломоносовское», АО «ССГПО» при выполнении НИОКР, разреза «Восточный» АО «Евроазиатская энергетическая компания» при обосновании схем применения экскаваторно-автомобильных комплексов, ТОО «Ангренсор Энерго» при выполнении для угольного разреза «Экибастузский» ТЭО.

Обоснование необходимости проведения данной научно-исследовательской работы. Анализ состояния горных работ на действующих карьерах Казахстана, России и Украины выявил значительное отставание вскрышных работ в связи с формированием ВНБ. Однако основная причина – низкий уровень технологического развития на многих отечественных карьерах. Управление рабочей зоной как в период консервации и формирования ВНБ, так и при расконсервации требует решения многих сложных организационно-технических задач, создания новых способов и приемов ведения горных работ в стесненных условиях.

Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки, о патентных исследованиях и выводы из них. На базе действующих и не разработанных карьеров Казахстана при выполнении предпроектных проработок доказана техническая возможность и экономическая целесообразность перехода на отработку высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов при ориентации фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов крутых бортов. Установлено, что при использовании мощных экскаваторно-автомобильных комплексов достигается последовательное ритмичное производство вскрышных и добычных работ в каждом последующем прирезаемом технологическом этапе отработки с экономичным календарным графиком отработки месторождений. Независимое развитие рабочей зоны относительно крутых бортов сверху вниз с минимально достаточными ее размерами при использовании мощных ЭАК обеспечит концентрацию горных работ на постоянной основе при минимальных требуемых объемах выемки вскрышных пород без ВНБ и ежемесячного регулирования вскрываемых запасов руды непосредственно в карьере.

Сведения о метрологическом обеспечении диссертации. При выполнении диссертации использовались горно-геологические трехмерные модели Ломоносовского месторождения, Качарского карьера, разреза Восточного с применением горно-геологических информационных систем.

Методология исследований включала оптимизацию поэтапных объемов вскрышных пород и полезного ископаемого через создание 3D модели открытой разработки крутопадающих месторождений первоначально округлой, затем овальной формы и определение на этой основе оптимальных поэтапных контуров карьера на базе цифровых моделей месторождений с использованием интегрированных горно-геологических информационных комплексов, а также сравнительного анализа расчетных календарных графиков горных работ с данными действующих проектов эксплуатации реальных объектов Казахстана.

Предпроектные проработки по апробации разработанной технологии для ряда карьеров выполнены в соответствии с действующими нормами, правилами и стандартами Республики Казахстан.

Актуальность темы диссертационного исследования. Анализ действующих глубоких карьеров Казахстана показывает, что из-за

отставания вскрышных работ практически для всех их характерны крутые борта, сдерживающие проектные темпы развития горных работ. Из теории и практики известно, что при разработке крутопадающих месторождений управление объемами выемки пород вскрыши может вестись путем выделения в пределах карьерного поля участков, очередей или этапов с формированием временно-нерабочих бортов (ВНБ). В последующем перемещение рабочей зоны на более глубокие горизонты сопряжено с усложнением производства горных работ. При этом для уменьшения текущих объемов выемки вскрыши ширина рабочих площадок резко сокращается; часть вскрышных уступов произвольно консервируется. При понижении добычных работ требуется расконсервация ранее погашенных вскрышных уступов по сложным и малопроизводительным технологиям. Ликвидация отставания вскрышных работ и обеспечение проектной ритмичности горных работ при крутых бортах на действующих глубоких карьерах по известным технологиям зачастую затрудняет проведение реконструкции карьеров в сжатые сроки и требует больших затрат на достижение конкурентоспособного уровня их технологического развития. Колебания спроса на минеральное сырье зачастую срывает сроки консервации и расконсервации отдельных участков вскрышной зоны и затрудняет поддержание необходимых размеров действующей части рабочей зоны глубоких карьеров, необходимой для получения запланированного объема добычи полезного ископаемого и безопасной реализации принятого календарного графика горных работ.

Поэтому разработка новых методов расконсервации временно нерабочих бортов глубоких карьеров и методологии ее экономической реализации является актуальной проблемой разработки крутопадающих рудных залежей месторождений Казахстана. Ее решение позволит повысить уровень технологического развития горнотранспортных систем отечественных карьеров.

Научная новизна темы.

1. Разработанная технология безопасного интенсивного развития рабочей зоны вдоль крутых бортов позволяет ликвидировать отставание вскрышных работ в меньшие сроки в отличие от традиционных методов, а также отказаться от формирования временно нерабочих бортов для уменьшения текущих объемов вскрышных работ в глубоких карьерах. При использовании мощных экскаваторно-автомобильных комплексов предложенный порядок развития рабочих зон в каждом из прирезаемых технологических этапов отработки обеспечит последовательное ритмичное производство вскрышных и добычных работ с созданием на промплощадке обогатительных фабрик необходимого запаса добытой руды при значительно меньшем, по сравнению с известными аналогами ведущих стран мира, объеме текущей вскрыши и также упростит процесс усреднения руды до ее переработки.

2. Разработана 3D модель поэтапного формирования оптимальных

контуров карьеров при разработке крутопадающих месторождений округлой формы, на основании которой создана 3D модель для карьеров овальной формы. В 3D модели поэтапных контуров карьера учитываются конфигурация рудного тела и наклон бортов карьера за счет применения по горизонтальным сечениям одномерного сплайна второго порядка, а при описании боковых поверхностей рудного тела - двумерного сплайна. Установление оптимального значения радиуса контуров карьера достигается методом Ньютона, когда через несколько итераций получается желаемая точность.

3. Разработан алгоритм оптимизации положения поэтапных контуров карьера при реализации нового порядка развития рабочих зон, при котором достигается объективная оценка перехода на отработку высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов с формированием фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов крутых бортов. В одном алгоритме совмещены горно-геометрический анализ и трансформация его результатов в оптимальный реально выполнимый календарный график горных работ. В результате горно-геометрического анализа получают оптимальные значения поэтапных объемов вскрыши и руды. После трансформации поэтапных объемов в календарные устанавливается, какие по годам объемы руды можно извлекать и сколько для этого нужно отработать вскрыши. Тем самым на стадии проектирования можно оценить предлагаемый порядок развития рабочих зон в зависимости от спроса на минеральное сырье и в плотную подойти от созданной динамической модели формирования оптимальных поэтапных контуров карьера к динамической модели развития рабочей зоны вдоль этих поэтапных контуров карьера с учетом траектории перемещения экскаваторов определенной производительности и трассирования вскрывающих выработок.

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами. Работа основана на результатах фундаментальных исследований по теме № 751 МОН.ГФ.12.17 «Разработка методологии оптимизации и реализации прорывных технологий на карьерах с наклонным и крутым падением пластов» (2012-2014гг., научный руководитель - докт.техн.наук, профессор Молдабаев С.К.), №1686/ГФ4 «Интенсификация строительства, реконструкции и повышение эффективности эксплуатации карьеров с применением двухуровневой отработки уступов с равной длиной фронта их работ» (2013-2015гг., научный руководитель - докт.техн.наук, профессор Молдабаев С.К.).

Цель диссертации - разработка методологии проектирования развития рабочих зон вдоль крутых бортов глубоких карьеров, обеспечивающей расконсервацию нерабочих бортов карьера на месторождениях Казахстана.

Идея работы – при ориентации фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов рабочего борта конструктивный угол наклона последнего может достигать устойчивого его значения, что позволит вести горные работы при минимальных объемах выемки вскрышных пород

без формирования временно нерабочих бортов (ВНБ) на постоянной основе как на округлых, так и на вытянутых карьерных полях.

Объект исследования. Месторождения Казахстана глубинного типа с крутопадающим залеганием рудных залежей.

Предмет исследования. Предметом исследования является технология ведения открытых горных работ на крутых бортах карьерных полей округлой и вытянутой формы и методы оптимизации календарных графиков горных работ.

Задачи исследования, их место в выполнении научно-исследовательской работы (НИР) в целом. В соответствии с поставленной задачей определены задачи, которые необходимо решить в данной работе:

1) разработка технологических схем ведения горных работ на крутых бортах карьерных полей округлой и вытянутой формы, способов перехода на нее и технологии расконсервации временно нерабочих участков глубоких и сверхглубоких карьеров;

2) создание методологии расконсервации временно нерабочего борта в глубоких рудных карьерах, включающей обоснование рациональных транспортных схем, 3-D моделирование поэтапных контуров карьера через оптимизацию коэффициента вскрыши и контуров этапов отработки, в особенности на карьерных полях округлой формы;

3) апробация технологии расконсервации временно нерабочего борта ниже границы применения железнодорожного транспорта на действующем крупном железорудном карьере «Качарский» через создание трехмерных моделей крутонаклонных слоев;

4) апробация нового порядка формирования рабочей зоны на рудных и угольных карьерах Казахстана;

Методологическая база исследований. Общей теоретической и методологической основой диссертации является комплексный подход, включающий анализ и обобщение фундаментальных исследований в области проектирования карьеров. В качестве основных методов использовались: геоинформатика и математическое моделирование; анализ работы отечественных и зарубежных глубоких карьеров; динамическое программирование. Методология исследований включала оптимизацию поэтапных объемов вскрышных пород и полезного ископаемого через создание 3D модели открытой разработки крутопадающих месторождений первоначально округлой, затем овальной формы и определение на этой основе оптимальных поэтапных контуров карьера на базе цифровых моделей месторождений с использованием интегрированных горно-геологических информационных комплексов на основе методов нелинейного и динамического программирования, уравнений сплайна первого и второго порядка, а также сравнительного анализа расчетных календарных графиков горных работ с данными действующих проектов эксплуатации реальных объектов Казахстана.

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие положения:

1. Переход на расконсервацию временно нерабочих бортов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов при ориентации фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов крутых бортов на глубоких рудных карьерах позволит снизить объемы вскрышного отставания до 25% за счет увеличения вскрываемых запасов и повысить производительность экскаваторно-автомобильных комплексов на 25-30% за счет петлевых схем разворота экскаваторов на широких площадках, что наряду с уменьшением разноса бортов карьера компенсирует интенсивность вскрытия рудной залежи сверху вниз.

2. Переход на отработку уступов поперечными панелями на наклонных месторождениях позволит снизить среднеэксплуатационный коэффициент вскрыши на каждые 100 м глубины понижения горных работ на 27-32%, а на крутопадающих месторождениях, – на 16-19%.

3. Предложенный порядок развития рабочей зоны при открытой разработке крутопадающих месторождений округлой (овальной) формы обеспечит концентрацию горных работ на постоянной основе при минимальных требуемых объемах выемки вскрышных пород без формирования временно нерабочих бортов (ВНБ) и ежемесячного регулирования вскрытых запасов руды непосредственно в карьере. В этом случае как таковая в общепринятом понимании реконструкция горнотранспортной системы глубоких карьеров при разработке крутопадающих месторождений округлой (овальной) формы не потребуется.

Научная и практическая значимость. Повышение конкурентоспособности действующих и перспективных карьеров Казахстана за счет обеспечения высоких темпов технологического развития при поэтапной разработке крутопадающих месторождений без временно нерабочих бортов. Разработанная технология безопасного интенсивного развития рабочих зон вдоль крутых бортов позволит повысить ритмичность производства вскрышных и добычных работ при значительном сокращении объемов вскрыши.

От ТОО Проектная компания «Антал» был получен акт приемки для внедрения в проект результатов данной докторской диссертационной работы от 09 октября 2020 года (Приложение А).

Публикации и апробация работы. Публикации по данной работе включают пять статей в научных журналах, входящих в базу Scopus, три из них в журнале «Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining», одна в Journal of Applied Engineering Research, одна в издании Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, пять в изданиях рекомендуемых Комитетом по контролю сфере образования МОН РК, из них две в «Горном Журнале Казахстана», еще две в журнале «Металлургическая и горнорудная промышленность» (входит в перечень утвержденных ВАК Украины), одна в Научно-техническом журнале «Горный информационно-

аналитический бюллетень» шесть статей докладывались на международных конференциях и форумах, таких как 22nd MPES (г. Дрезден, Германия) и 26th MPES (г.Лулео, Швеция), Сатпаевские чтения «Роль и место молодых ученых в реализации стратегии «Казахстан-2050» (г.Алматы), «Инновации для бизнеса России и Казахстана» (г.Екатеринбург).

Структура и объем работы: Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 84 наименований и содержит 136 страниц машинописного текста, 45 рисунка, 13 таблиц, 91 формул, одно приложение.

1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ РАСКОНСЕРВАЦИИ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧЕГО БОРТА В ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ

1.1 Анализ решения проблем поэтапной разработки крутопадающих месторождений

Известной особенностью открытой разработки крутопадающих месторождений является выполнение основного объема вскрышных работ до подхода к конечным контурам карьера на дневной поверхности. Уже в проектах при разработке таких месторождений предусматривается выделение этапов продолжительностью 7-12 лет с формированием временно нерабочих бортов (ВНБ). Однако колебания спроса на минеральное сырье зачастую срывает сроки консервации и расконсервации отдельных участков вскрышной зоны и затрудняет поддержание необходимых размеров действующей части рабочей зоны глубоких карьеров, необходимой для получения запланированного объема добычи полезного ископаемого и безопасной реализации принятого календарного графика горных работ [1].

Обоснование рационального режима горных работ, которому соответствуют приемлемые решения по выбору средств механизации, выемочно-погрузочных работ и карьерного транспорта, позволяют достичь высоких технико-экономических показателей при отработке карьерного поля до проектной глубины.

Анализ опыта эксплуатации открытым способом известных в мире месторождений показывает, что элементы контура карьеров, а именно глубина и углы откосов бортов карьера при погашении, в связи с совершенствованием технологии, техники и способов управления устойчивостью бортов карьера много раз пересматривались в сторону увеличения [2]. Целесообразно разделить установленные для открытой разработки запасы месторождения по глубине на этапы с отстройкой промежуточных бортов этапа под углами, равными углу погашения или близкими к нему.

Управление откосами на карьерах является комплексной задачей, решение которой обязательно включает и горно-технологические вопросы по рациональному порядку и интенсивности горных работ в связи с использованием определенных видов оборудования. Очевидно, что принимаемые углы наклона бортов должны быть оптимальными с технико-экономической точки зрения. Критериями оптимальности при этом могут служить минимизация приведенных затрат или максимизация прибыли, подсчитанные в результате рассмотрения всех возможных в данных условиях вариантов формирования равноустойчивых бортов карьеров с различными углами наклона и с применением различных средств искусственного повышения устойчивости ослабленных участков и зон.

Исходными принципами управления состоянием бортов карьеров являются следующие положения [5]:

- борта карьеров должны обеспечивать безопасное (для людей и оборудования) ведение горных работ;
- откосы бортов карьеров должны обеспечивать экономичность разработки месторождения.

В связи с разнородностью и неопределенностью среды, в которой формируются борта карьеров, большой изменчивостью литологического состава, свойств и структуры массива горных пород необходимо введение в расчеты коэффициента запаса устойчивости бортов карьеров. Его определение и выбор должны вестись по стадиям [6]:

- при проектировании (на основании разведочных данных); при вскрытии месторождения (на основании данных горно-строительных работ) для обеспечения устойчивости рабочих и промежуточных бортов карьеров;
- при подходе горных работ к предельному контуру на основании данных длительной эксплуатации;
- в сложных условиях при больших глубинах разработки необходимы специальные инженерные меры для управления состоянием бортов карьеров;
- на карьерах должны быть созданы специальные службы наблюдения за устойчивостью бортов и контроля проводимых инженерных мероприятий.

В течение всей истории развития горного дела перед учеными и инженерами вставал ряд вопросов, решение которых позволили бы безопасно для людей и природы, экономично, быстро производить выемку полезного ископаемого.

В статье [7] предлагается усовершенствовать борта карьеров за счет формирования участков с нарастающим расстоянием между бермами и второй вариант - создание крутых бортов с укрепленными откосами. Указано, что работы по оформлению нерабочих бортов карьеров и укреплению откосов имеют свою специфику, отличающуюся от других работ в карьере.

В работе [8] рассматриваются варианты оптимального решения сложной динамической задачи, а для решения предложена комплексная методика планирования, основанная на многофакторном анализе нарастающих объемов породы, руды, горной массы и металла. В качестве критерия предложен коэффициент горной массы, характеризующий количество горной массы, приходящийся на единицу извлекаемого из недр металла.

В работе [9] автором предложен двухстадийный разнос борта карьера, который предусматривает отработку в первую очередь верхней части борта и во вторую очередь - отсыпку из взорванных пород призмы пригрузки и за счет нее создание дополнительных рабочих площадок, необходимых для разноса нижней части борта. Данный способ был внедрен на карьере «Объединенный» Межозерного рудника Удачлинского ГОКа.

В работе [10] предложена технология горных работ, которая предусматривает ликвидацию вскрышного отставания выполнять с выделением объема опережающей выемки и объема доработки. Данная технология позволяет равномерно распределить выемку объема ликвидации вскрышного отставания во времени и разрабатывать его с минимально возможной производительностью по вскрыше и минимальными затратами.

Сформированные борта железорудных карьеров Кривбасса по проекту должны иметь ширину берм безопасности 10-12 м, но под воздействием различных факторов они уменьшаются до 4-6 м, что исключает возможность их очистки. При возобновлении горных работ на верхних уступах этих участков работать на нижних не представляется возможным. Разнос постоянных бортов глубоких карьеров в период реконструкции и временных бортов при возобновлении горных работ представляет значительные технологические трудности, обусловленные нарушением транспортных связей нижних горизонтов с верхними, увеличением расстояния транспортирования, ухудшением условий безопасности на нижних уступах. В статье [11] рассмотрена технология расконсервации восточного борта карьера №1 ЦГОКа, предусматривающая минимально возможный развал горной массы в сторону выработанного пространства. Эта схема предусматривает создание опережающей траншеи на уступе с последующим взрыванием оставшейся части массива. Данная схема имеет большое преимущество, поскольку при взрывании вышележащих уступов исключается завал съездов, рабочих площадок и т.д. Основными недостатками данной технологической схемы являются необходимость более четкой организации и взаимоувязки буровых и экскаваторных работ, снижение производительности экскаватора вследствие работы в тупиковом забое траншеи.

Рассмотренная работа [12] учитывает возможность реконструкции борта карьера длиной 2 км, при этом ширина разноса борта по поверхности 200 м, угол откоса нерабочего борта – 42°. При условии непрерывной работы карьера темп расконсервации нерабочего борта карьера определен 60 м в год. Расконсервация нерабочего борта карьера, проводимая в условиях высоких уступов, отсутствия на уступах необходимых площадок для размещения всего объема развала породы, характеризуется периодическими завалами автомобильного съезда. В процессе исследований предложено два варианта решения задачи: первый – организация запасного съезда на случай завала основного заезда, что позволяет вести работу независимо от процесса расконсервации нерабочего борта; второй – создание резервного склада руды за пределами карьера для обеспечения обогащательной фабрики сырьем в период прекращения добычных работ при завале основного заезда. Более эффективным оказался вариант с созданием запасного съезда, принятый к реализации в условиях глубокого Сибайского карьера.

В условиях карьера «Железный» Ковдровского ГОКа в соответствии с проектом для регулирования объемов вскрышных работ оставались

временно нерабочие борты (ВНБ) [13]. Рабочая зона карьера представляет собой чередующиеся как по высоте, так и в плане участки рабочих и временно нерабочих бортов. Возобновление работ на ВНБ осуществлялось последовательно сверху вниз. Уступы на ВНБ вскрывались и подготавливались так же, как и в основной рабочей зоне. В период интенсивной отработки временных целиков в рабочее положение приводятся 2-3 уступа в год. Предложено расконсервацию борта осуществить приведением верхнего уступа до достижения положения, в котором он должен находиться ко времени окончания разноса ВНБ. При недостаточной длине фронта работ на одном горизонте, когда производительность экскаваторов снижается из-за стесненных условий, в отработку вовлекается сразу два уступа. По достижении ими запланированного положения горные работы последовательно опускаются на нижерасположенные уступы. Предложенная схема развития работ обеспечивает минимум средневзвешенной глубины выемки горной массы в течение всего процесса отработки целиков. Экономический эффект от внедрения схемы определялся с помощью обобщающего показателя – средневзвешенной глубины выемки горной массы. Так же указано, что в том случае, когда ВНБ разносится не до конечных контуров карьера, а до следующего промежуточного положения и шаг передвижения ВНБ в плане меньше, чем удвоенная ширина нормальной рабочей площадки, традиционная схема разноса ВНБ не имеет альтернативы.

В статье [14] указывается, что несвоевременная реализация мер по расширению карьера и вложению дополнительных капитальных затрат может привести к отставанию вскрышных работ, сокращению готовых к выемке запасов и снижению мощности карьера. При реконструкции карьеров имеет место частичное выбытие мощности на добыче полезного ископаемого и необходимость дополнительных капитальных вложений без наращивания мощности. Как правило, на практике проект выполняется преимущественно на этап разработки, составляющий 10-12 лет. При этом капитальные вложения и технико-экономические показатели определяются на расчетный год с учетом времени освоения проектной мощности и условий отработки карьера за период всего этапа. На каждые 100 м увеличения глубины карьера производительность основного горнотехнического оборудования падает на порядок. В результате на горнодобывающих предприятиях, несмотря на технический прогресс, имеет место отставание вскрышных работ и сокращение готовых к выемке запасов и необходимы своевременные меры по реконструкции карьера. В работе определены временные характеристики начала формирования проектов реконструкции глубоких карьеров, которые при имеющейся технологии отработки должны выполняться за 4-7 лет до начала выбытия мощностей.

Проведенные в работе [15] исследования показывают, что средняя ширина рабочих площадок на карьерах находится в пределах 35-80 м. Однако на всех карьерах на верхних горизонтах ширина рабочих площадок меньше требуемой, имеются сдвоенные и строенные уступы. Такое

положение в значительной степени усложняет работы по расконсервации бортов карьеров, а сложившаяся обстановка объясняется отставанием вскрышных работ.

В работе [16] указывается, что удельная длина рабочего фронта горных работ является одним из основных показателей рабочей зоны карьера, а также приведены зависимости для определения последнего. Основным выводом является то, что увеличение удельной длины фронта горных работ приводит к росту производительности карьера, уменьшение – ее снижению.

Совершенствование теории и методов регулирования режима горных работ позволяет в какой-то степени снизить зависимость от нарастающих объемов вскрышных работ за счет их перераспределения во времени и пространстве. В работе [17] при вскрытии и подготовке новых горизонтов карьера №1 ЦГОКа вскрышные работы велись локальными участками с концентрацией и интенсификацией их на одних и временной консервацией на других. В результате к 1986 г. рабочие площадки на участках были сработаны до 10-15 м, а местами полностью отсутствовали. На участках, где велись выемочно-погрузочные работы, рабочие площадки были минимальной ширины (25-40м). Произошло отставание вскрышных работ, а угол откоса составил 26-32° против 12-14° по проекту. Для решения возникшей проблемы была предложена новая этапно-слоевая технология отработки крутопадающего месторождения большой протяженности. По глубине карьерное поле делится на горизонтальные слои, а из точек пересечения линий, разделяющих горизонтальные слои, и боков залежи проводятся линии под углами откосов проектных бортов карьера. Эти линии и линии раздела горизонтальных слоев формируют наклонные блоки. Отработка наклонных блоков производится одним-тремя уступами продольными или поперечными экскаваторными заходками.

Откос борта карьера в промежуточном контуре оформляют следующим образом. С площадок горизонта, на которых планируется устройство транспортных берм, на расстоянии 25-30 м от нижней бровки вышележащего уступа бурят ряд контурных наклонных скважин на высоту двух уступов. На горизонтах, где оставляется берма безопасности, контурный ряд бурят на расстоянии 12-15 м от нижней бровки вышележащего уступа. Длину обуриваемого участка принимают в широких пределах (от 100 до 500 м). Уменьшение объема буровых работ при формировании промежуточных контуров бортов карьера достигается чередованием контурных скважин между собой – одна глубокая (на всю высоту 30-32 м) и две короткие скважины 1/3-1/4 высоты уступа, которые взрывают в первую очередь по отношению к зарядам глубоких скважин. Бурение и взрывание блоков эксплуатационных скважин без предварительного щелеобразования допускается только при условии, если данный блок будет расположен не ближе 25 м от временного контура. Анализ выполненных работ использования этапно-слоевой технологии отработки показал, что объемы

текущей вскрыши по этапам равны или близки к среднеэксплуатационному коэффициенту вскрыши.

В работе [18] выделяются следующие важнейшие направления решения проблем поэтапной разработки: формирование оптимальных профилей ВНБ; выбор технологии расконсервации ВНБ с учетом создания ограждающих сооружений для обеспечения безопасных условий работы оборудования и людей от случайно падающих с высоких откосов и разделяющихся при взрывах кусков породы; управление рабочей зоной карьера и оптимизация карьерного пространства. Практика разработки глубоких карьеров показывает, что управление рабочей зоной как в период консервации и формирования ВНБ, так и при расконсервации требует решения многих сложных организационно-технических задач, создания новых способов и приемов ведения горных работ в стесненных условиях.

Анализ проектных и фактических параметров систем разработки на Криворожских карьерах [19] показывает, что ширина рабочих площадок составляет 30-40 м вместо 60-80 м по проектам. Обеспеченность готовыми к выемке запасами – 0,8-1,6 месяцев вместо 2,5 по нормам. Размеры ВНБ значительно превышают проектные. Интенсификация горных работ на таких участках возможна только одним путем – поэтапным их перемещением в новые положения с параметрами, обеспечивающими проектную мощность карьера по руде. Для таких условий А.Ю. Дриженко разработал способ поэтапного развития глубоких карьеров крутыми слоями [20]. Суть его заключается в том, что крутопадающее месторождение вытянутой формы обрабатывается поэтапно с формированием и отработкой долговременных запасов руды, образующих зону углубки. Стабилизация объемов вскрышных работ при поэтапном развитии глубоких карьеров крутыми слоями осуществляется за счет изменения высоты ВНБ. Стремятся выйти на такой график режима горных работ, при котором будет обеспечена работа карьера с текущим коэффициентом вскрыши, близким к среднему.

1.2 Современные тенденции по расконсервации временно нерабочих бортов

Проблемам расконсервации ВНБ, стабилизации производительности глубоких карьеров по горной массе и ликвидации отставания вскрышных работ и в последние годы посвящено достаточно много научных трудов [21-27]. Стремление минимизировать объемы вскрышных работ в ущерб вскрытым запасам полезного ископаемого в глубоких карьерах зачастую приводит к отставанию по вскрыше, что затрудняет поддержание производственной мощности с понижением горных работ. Рассмотренные способы периодического создания ВНБ в коренных крепких породах усложняют технологию горных работ и не всегда решают проблему отставания вскрышных работ и ритмичности их производства с добычей полезных ископаемых.

Анализ опыта проектирования, научных исследований и отработки глубоких карьеров как в странах СНГ, так за рубежом позволяет выделить следующие важнейшие направления решения проблем поэтапной разработки:

- формирование оптимальных профилей временно нерабочих бортов;
- выбор технологии расконсервации ВНБ с учетом создания ограждающих сооружений для обеспечения безопасных условий работы оборудования и людей от случайно падающих с высоких откосов и разделяющихся при взрывах кусков породы;
- управление рабочей зоной карьера и оптимизация карьерного пространства.

Свыше 95% карьеров глубиной более 150 м отрабатываются с использованием ВНБ. Регулирование объемов вскрышных работ за счет формирования ВНБ является экономически целесообразным. Однако применение ВНБ увеличивает жесткость связи между вскрышными и добычными работами в карьере. Практика работы карьеров показывает, что колебание цены и спроса на минеральное сырье и нестабильность в горнодобывающей отрасли нередко приводит к несвоевременной расконсервации ВНБ и соответственно к снижению производственной мощности по полезному ископаемому.

Применяемые на большинстве карьеров способы расконсервации ВНБ с поочередной подготовкой рабочих уступов отличаются относительной дешевизной, но не всегда обеспечивают своевременную подготовку добычных горизонтов. Традиционные конструкции ВНБ обеспечивают регулирование коэффициента вскрыши и не учитывают последующий способ расконсервации [21].

Эффективная работа горнодобывающего предприятия в рыночных условиях возможна при обеспечении текущей производительности карьера по полезному ископаемому с минимальными затратами на выемку вскрышных пород. Для этого необходимо формировать и своевременно расконсервировать ВНБ, используя экономически целесообразные способы и конструкции.

Практика работы карьеров показывает, что на эффективность применения ВНБ в карьере влияют выполнение плановых объемов горных работ и затраты на выемку и транспортирование вскрыши. Поэтому при выборе конструкции и способа расконсервации ВНБ используются следующие технико-экономические параметры расконсервации ВНБ: скорость расконсервации (вертикальная составляющая, м/год), удельные затраты на вскрышные работы (у.е. /м³) и объемы расконсервации (м³).

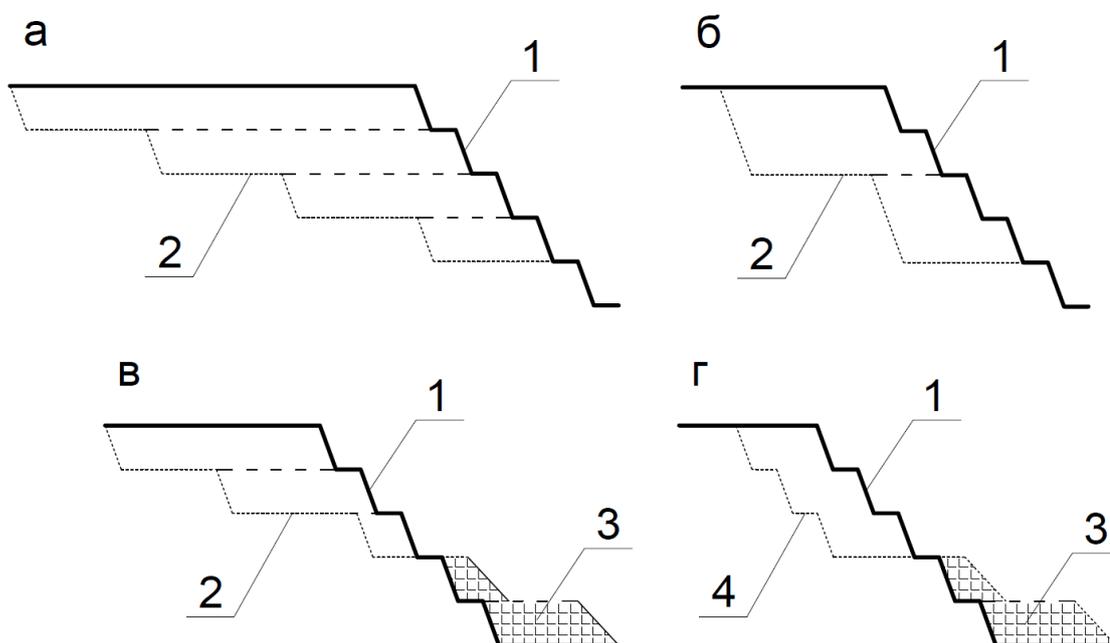
С.В. Гавришев [21] исследовал различные способы расконсервации, которые отличаются конструкцией и углом рабочего борта на участке разноса ВНБ. В качестве основной характеристики рассмотренных способов расконсервации ВНБ, влияющих на скорость расконсервации и удельные затраты на вскрышные работы, выбран объем горной массы, сбрасываемой в

выработанное пространство карьера при взрывных работах – коэффициент сброса $K_{сб}$. Его использование позволило выделить четыре способа расконсервации (рисунок 1.1): поуступный («классический»), $K_{сб}=0,1-0,2$; высокими уступами, $K_{сб}=0,2-0,4$; с насыпной призмой, $K_{сб}=0,4-0,6$; крутыми слоями, $K_{сб}=0,6-0,9$.

Классический способ расконсервации используется на большинстве карьеров и предусматривает выполаживание ВНБ. Т.В. Донченко предложил сократить время расконсервации за счет сооружения насыпной призмы в основании ВНБ. Ведение горных работ высокими уступами, как способ увеличения угла рабочего борта, обосновано М.Г. Новожиловым. Б.Н. Кутузовым рассмотрен способ взрывной доставки вскрышных пород в основание борта при отработке крутых слоев, который применялся на нагорных месторождениях.

Способы расконсервации исследовались на упрощенной геометрической модели ВНБ с углом откоса борта $\beta = 20\div 50^\circ$ и вариантами конструкций ВНБ с различным количеством совмещенных уступов. Скорость расконсервации ВНБ в зависимости от применяемого способа составляет:

- 20-60 м/год – поуступный «классический»;
- 80 и более м/год – высокими уступами;
- 45-120 м/год – с сооружением насыпной призмы;
- 180-260 м/год – крутыми слоями.



а - поуступный («классический»); б - высокими уступами; в - с насыпной призмой; г – крутыми слоями;

--- --- --- --- контур рабочего уступа; 1 – контур ВНБ; 2 – контур рабочего борта; 3 – взорванная горная масса; 4 – контур взрываемого слоя

Рисунок 1.1 – Способы расконсервации ВНБ

Способ расконсервации влияет на коэффициент сброса и расстояние транспортирования горной массы. Рост коэффициента сброса до 0,9 влечет за собой увеличение удельных затрат на выемку и транспортирование 1 м³ вскрышных пород до 1,9 раза.

Конструирование ВНБ с учетом последующего способа расконсервации за счет увеличения количества совмещенных уступов и ширины предохранительных берм позволяет отстроить широкие бермы и сократить объемы взорванной горной массы, пересыпаемой на нижележащие горизонты. При этом обеспечиваются необходимые условия для устройства транспортных коммуникаций и работы горного оборудования.

Анализ проектных и фактических параметров системы разработки на карьерах криворожских ГОКов показывает, что ширина рабочих площадок составляет 30-40 м вместо 60-80 м по проектам. Обеспеченность готовыми к выемке запасами – 0,8-1,6 мес. вместо 2,5 мес. по нормам. Размеры ВНБ значительно превышают проектные.

Интенсификация горных работ на таких участках возможна только одним путем – поэтапным их перемещением в новые положения с параметрами, обеспечивающими проектную мощность карьера по руде. Для таких условий А.Ю. Дриженко разработал способ поэтапного развития глубоких карьеров крутыми слоями. Суть его заключается в том, что крутопадающее месторождение вытянутой формы (примечание автора) отрабатывается поэтапно с формированием и отработкой долговременных запасов руды, образующих зону углубки.

В работах [28, 29] акцент в основном делается на оптимизации рабочей зоны и на том, как наиболее эффективно работать в уже сложившихся условиях. В работе [30] установлены взаимосвязи между производительностью экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК) и конструкцией рабочего борта карьера с большой высотой рабочей зоны в условиях недостатка готовых к выемке запасов горной массы. Авторами предложена методика обоснования конструкции рабочего борта глубоких карьеров, обеспечивающая на основе учета распределения активных и пассивных запасов горной массы наиболее эффективное использование ЭАК.

Однако производительность ЭАК зависит не только от наличия готовых к выемке запасов горной массы, но и от соразмерного развития горных работ на смежных уступах, безопасных условий эксплуатации автосамосвалов, времени их обмена при погрузке, качества дробления горных пород и т.д. С понижением горных работ сокращается длина добычного фронта работ. Поэтому изыскание технологических приемов поддержания производственной мощности является по-прежнему актуальной проблемой открытых горных работ.

1.3 Обоснование предлагаемой технологии расконсервации временно нерабочего борта

В высокоразвитых странах на крупных карьерах 77% объемов горных работ выполняется экскаваторно-автомобильными комплексами. При этом акцент делается на применении мощных мехлопат и большегрузных автосамосвалов. Целесообразные углы откосов временно нерабочих бортов на карьерах, разрабатывающих крутопадающие месторождения с применением экскаваторно-автомобильных комплексов, определяются темпами углубки и объемами сброса породы относительно высоты борта, а также ценной руды [31]. При этом с уменьшением ценны руды значение угла откоса относительно проектного может быть уменьшено, а с увеличением темпа углубки - увеличено.П овышение производительности ЭАК существенно снижает эксплуатационные затраты. Однако на некоторых карьерах ширина автодорог достигает 35-40 м, что через увеличение ширины рабочих площадок снижает эффективность горных работ. Поэтому через изыскание приемов эффективного применения мощных ЭАК в работе совместно решаются задачи по обоснованию резервов управления режимом горных работ и на его основе повышения производительности рудных карьеров.

При применении мощных ЭАК предпочтительно переходить на отработку уступов поперечными панелями [32-40]. Примером успешной реализации такой технологии являются карьеры рудника Escondida в Чили. Они являются крупнейшими в мире по производству меди (более 9-10%). Производительность рудника составляет 135 тыс. т руды в сутки или 47,3 млн. т руды в год [41].

В связи с этим в работе рассмотрены следующие технологии отработки уступов ЭАК на карьерах [42-43]:

- продольными панелями при минимальной ширине рабочих площадок с учетом резервного блока-панели (рисунок 1.2);
- поперечными панелями несколькими рассредоточенными по фронту уступа экскаваторами (рисунок 1.3);
- совместная совмещенная отработка смежных уступов поперечными панелями (рисунок 1.4) с оставлением между ними транспортных берм. Подвариант такой технологии применяется на карьерах рудника Escondida;
- предлагаемая технология отработки высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов (рисунок 1.5).

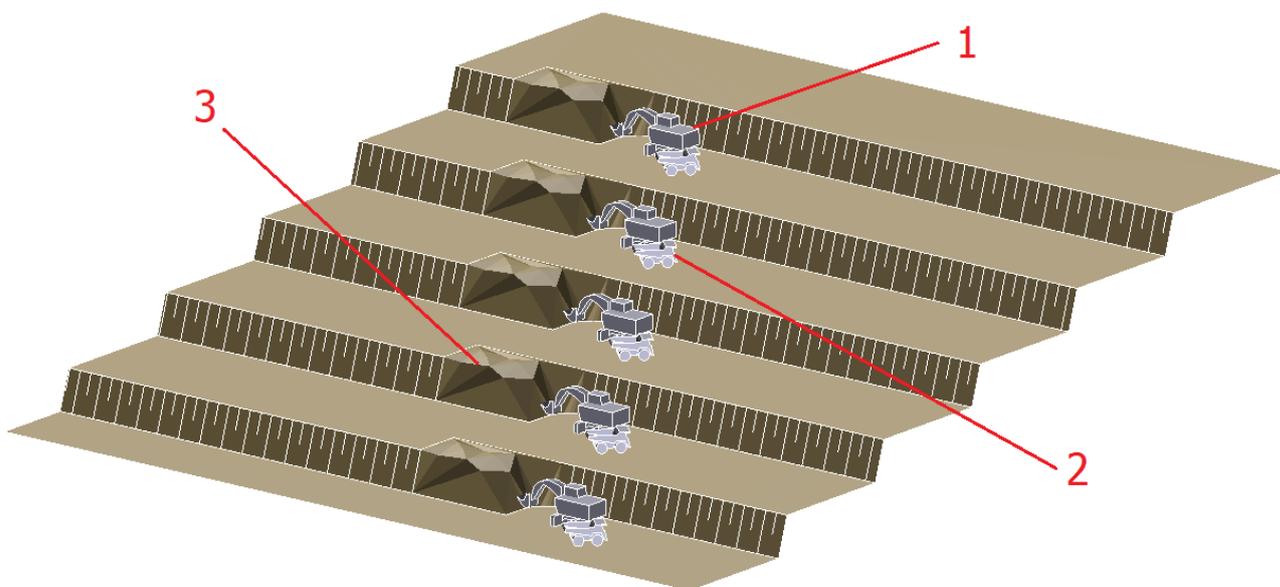


Рисунок 1.2 – Технология отработки уступов продольными блоками:
1 – экскаватор; 2 – автосамосвал; 3 – развал горной массы.

Текущие объемы вскрыши зависят от угла наклона рабочего борта. На нижних уступах расчетная ширина рабочей площадки в крепких породах должна составлять 75-80 м.

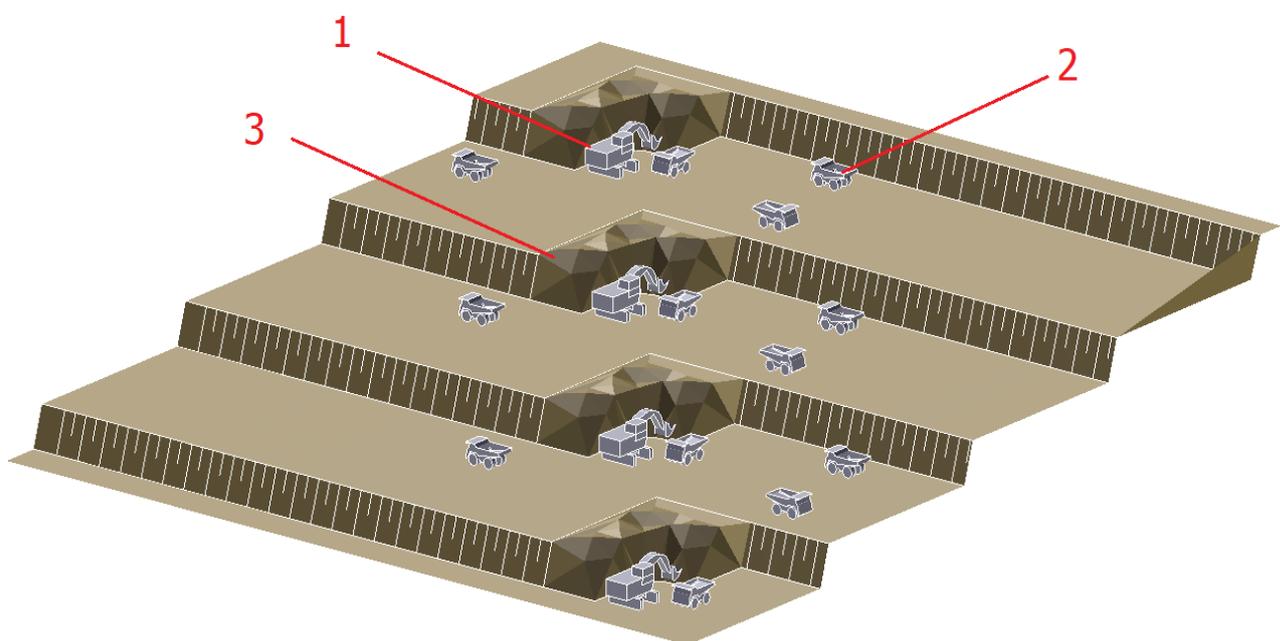


Рисунок 1.3 – Технология отработки уступов поперечными блоками:
1 – экскаватор; 2 – автосамосвал; 3 – развал горной массы.

Если ширину рабочей площадки с учетом резервного блока панели принять равной 80 м, то для четырех уступов высотой 15 м при отработке их продольными блоками панелями нормальной ширины угол откоса рабочего борта составит $16,7^{\circ}$. При отработке этих четырех уступов поперечными

панелями (80 м) с оставлением между ними транспортных берм шириной 30 м (для большегрузных автосамосвалов) угол откоса рабочего борта уменьшится до $9,7^{\circ}$ (меньше на 41,9%). Ширина рабочей площадки при этом увеличится до 190 м (в 2,4 раза).

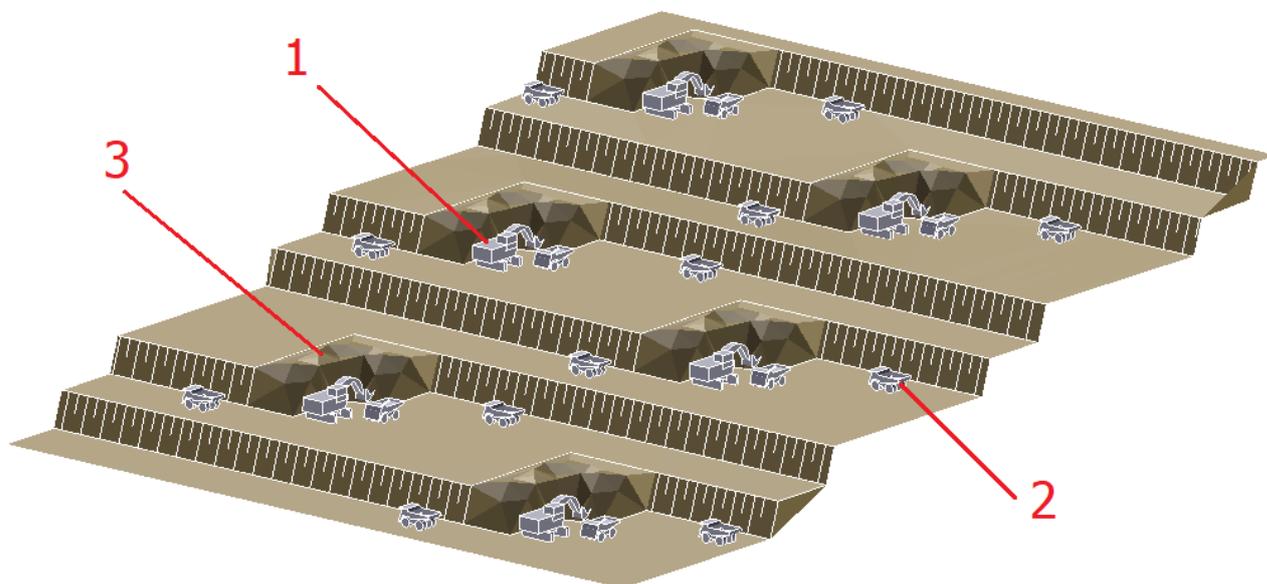


Рисунок 1.4 – Технология совместной совмещенной отработки смежных уступов поперечными блоками:

1 – экскаватор; 2 – автосамосвал; 3 – развал горной массы.

При совмещенной сдвоенной отработке смежных уступов с оставлением между ними транспортных берм ширина рабочей площадки через два уступа сократится до 110 м. Это позволит для четырех уступов увеличить угол откоса рабочего борта до $17,5^{\circ}$.

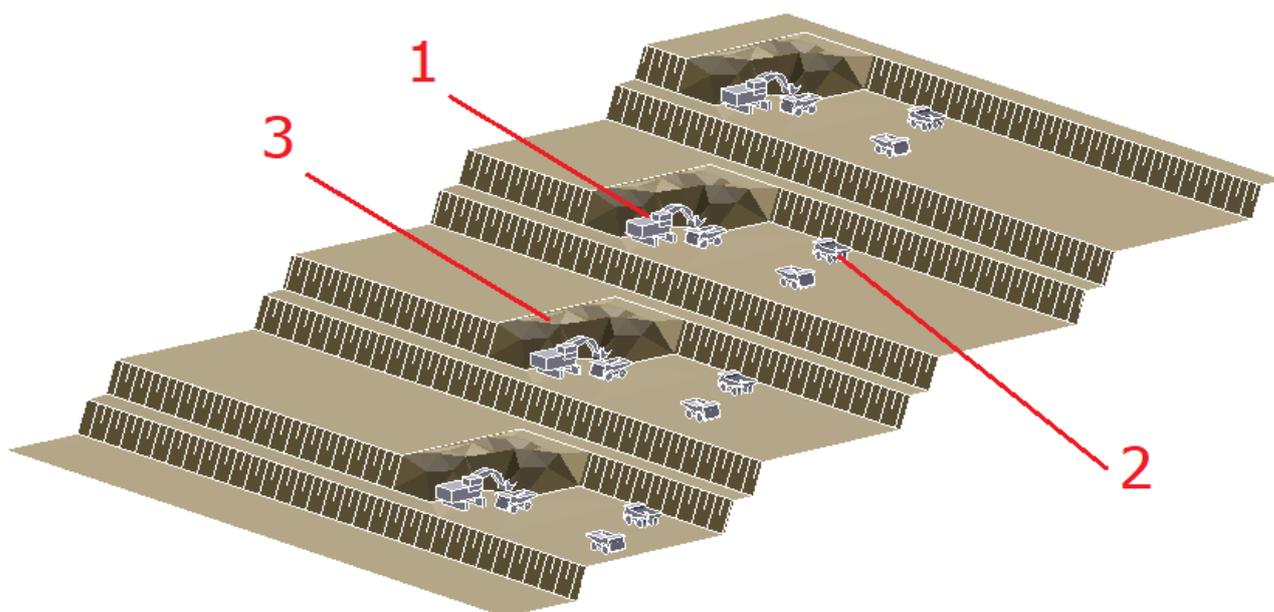


Рисунок 1.5 – Технология двухуровневой схемы отработки уступов поперечными блоками панелей с изменяющимися уровнями рабочих площадок:

1 – экскаватор; 2 – автосамосвал; 3 – развал горной массы.

Еще большего увеличения угла откоса рабочего борта можно достигнуть по предлагаемой технологии обработки высоких уступов (по 30 м) поперечными панелями с двух уровней расположения экскаваторов с оставлением между подступами предохранительных берм (5 м), а между уступами только транспортных берм для текущего обслуживания экскаваторов (до 15 м) не технологическим автотранспортом. Угол откоса рабочего борта при той же глубине (60 м) достигнет $25,6^{\circ}$. По сравнению с обработкой уступов продольными панелями больше на $8,9^{\circ}$ (53,3%), а относительно сдвоенной совмещенной обработки смежных уступов больше на $8,1^{\circ}$ (46,3%).

Изменение угла откоса рабочего борта с глубиной без учета ее вписывания в промежуточный или конечный контур карьера приведено на рисунке 1.6.

До сих пор одной из глобальных проблем остается затруднение в обеспечении соразмерного развития горных работ не только между смежными уступами, но и всех уступов рабочей зоны на постоянной основе. Такая постановка вопроса осуществляется впервые и достигается соразмерное развитие горных работ на всех уступах рабочей зоны обеспечением изменяющихся уровней рабочих площадок.

Каждый уступ рабочей зоны разделяется на два подступа (рисунок 1.5). Поначалу одновременно обрабатываются все верхние подступы, а затем нижние подступы. Это позволяет между смежными подступами временно приостанавливать горные работы и добиваться их безопасной обработки широкими панелями при увеличении высоты уступов в 2-3 раза. При обработке верхних подступов в торцах карьера сооружаются временные вскрывающие выработки, что значительно снижает объемы горно-капитальных работ.

Комплектация ЭАК в зависимости от интенсивности развития горных работ при различной длине блоков-панелей укрупнено производится по графику на рисунке 1.7. Анализ ее показывает, что при большой мощности карьеров (скорости подвигания фронта работ более 150-200 м) следует переходить на применение мощных ЭАК. При длине панели более 1000-1500 м рекомендуется двухблочная обработка панелей. Увеличение угла откоса рабочего борта позволяет снизить значения текущих объемов вскрывных работ [44]. Поэтому при применении мощных ЭАК достаточно вести горные работы высокими уступами с последовательной обработкой их верхней и нижней его частей с двух уровней стояния одним экскаватором. Вскрывающая выработка для обработки верхней части уступа на вытянутых карьерных полях будет располагаться на одном из его флангов.

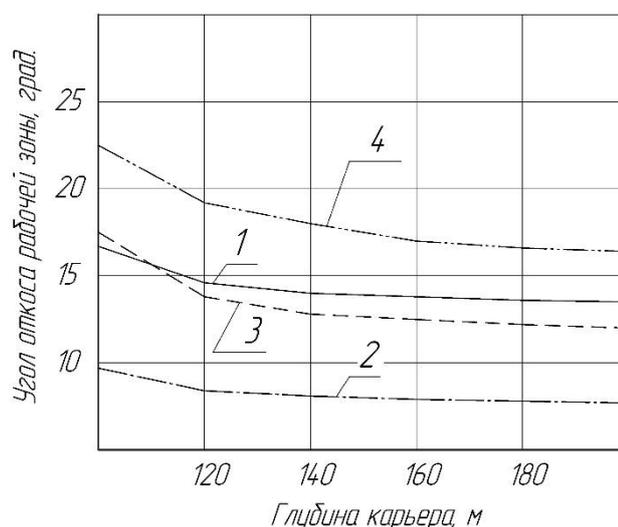
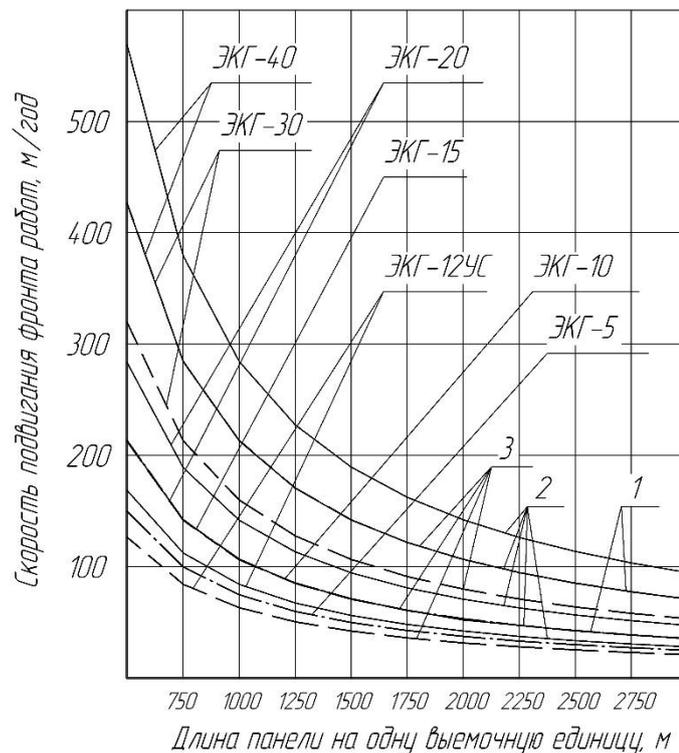


Рисунок 1.6 – График зависимости угла откоса рабочего борта от глубины разработки исследуемых вариантов технологии отработки уступов:
 1 – продольными блоками панели; 2 – поперечными блоками панели; 3 – совместная совмещенная отработка смежных уступов поперечными панелями (блоками панелей); 4 – отработки высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов.

Последние достижения в области управления устойчивостью бортов карьеров позволяют недропользователям при разработке наклонных и крутопадающих, как рудных, так и угольных месторождений, увеличить углы наклона рабочих бортов карьеров [45]. Однако зачастую минимизация объемов вскрышных работ затрудняет выдерживание проектной производственной мощности карьеров [46].

Ведение горных работ в стесненных условиях снижает безопасность эксплуатации горнотранспортного оборудования и обслуживающего их персонала. Отсутствие площадок достаточных размеров ограничивает производство многорядного короткозамедленного взрывания, в результате чего наблюдается превышение выхода негабаритных кусков после производства массовых взрывов, что негативно сказывается на производительности экскаваторов. Эти проблемы усугубляются в условиях продолжающегося экономического кризиса. Уменьшение прибыли предприятий, особенно на действующих карьерах, ограничивают средства на ремонт и обслуживание горнотранспортного оборудования, что снижает коэффициент их технической готовности.



1, 2, 3, 4 – соответственно при высоте уступов 20, 30, 40 м

Рисунок 1.7 – Изменение интенсивности горных работ при отработке высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаватора в зависимости от длины панели и типов экскаваторов-мехлопат

Как правило, в нижней части вскрышной зоны рабочих бортов повсеместно наблюдается сужение рабочих площадок. На многих карьерах из-за экономического кризиса отодвигается инвестирование перехода на циклично-поточную технологию. Поэтому горные работы в этот период приходится вести на крутых бортах, что затрудняет поддержание необходимых размеров действующей части рабочей зоны глубоких карьеров, необходимой для получения запланированного объема добычи полезного ископаемого и безопасной реализации принятого календарного графика горных работ.

В качестве одного из вариантов использования ЭАК на крутых бортах нами предложена технология перехода на отработку высоких уступов поперечными панелями с двух уровней расположения экскаваторов с сооружением временных вскрывающих выработок на флангах карьерного поля (инновационный патент РК № 26485).

При значительном отставании вскрышных работ доказана также эффективность перехода на технологию развития рабочих зон вдоль крутого борта, когда фронт работ уступов рабочей зоны ориентируют перпендикулярно фронту работ уступов рабочего борта (инновационный патент РК № 29038). При этом между высокими уступами вдоль рабочего борта оставляют только транспортные бермы, а между частями уступов – предохранительные бермы. Длина фронта работ уступов рабочей зоны

принимается равной ширине поперечной панели прирезаемого технологического слоя (этапа отработки). Ее величина должна обеспечить двухстороннюю подачу самосвалов к экскаваторам в забоях даже при тупиковом развитии фронта работ и создать условия для применения многорядного короткозамедленного взрывания скважинных зарядов.

Оптимизация положения рабочего борта угольного разреза «Восточный» при переходе на предлагаемую технологию использования ЭАК достигается последовательным определением параметров его конструкции в добычной и вскрышной зонах по этапам отработки соответственно в пределах работы добычного комплекса по поточной технологии, вскрышного комплекса по циклично-поточной технологии с использованием в рабочей зоне ЭАК и по циклической технологии с использованием экскаваторно-железнодорожных комплексов. После подсчета поэтапных объемов вскрыши и запасов угля вычисляются требуемые годовые объемы вскрышных работ и производится их усреднение с учетом обеспечения равномерного плавного изменения значений текущего коэффициента вскрыши в календарные годы.

Апробация предложенного алгоритма оптимизации положения рабочего борта показывает [47], что по предлагаемой схеме развития вскрышной зоны объем вскрышных работ с глубины разреза 250 м до глубины 350 м по сравнению с перспективной проектной схемой меньше на 141,1 млн. м³, при этом значение среднеэксплуатационного коэффициента вскрыши снижается с 2,2 до 1,75 м³/т (на 25,7%).

Анализ календарного графика горных работ показывает, что значения текущего коэффициента вскрыши изменяются от 1,69 до 1,87 м³/т за 16 лет при значении среднеэксплуатационного коэффициента вскрыши 1,75 м³/т. Превышение максимального значения текущего коэффициента вскрыши над среднеэксплуатационным коэффициентом вскрыши составляет всего 6,4%, т.е. достигается оптимальный режим горных работ.

Углубленный расчет ожидаемого экономического эффекта от реализации предлагаемой технологии отработки высоких уступов поперечными панелями в нижней части вскрышной зоны с использованием экскаваторно-автомобильных комплексов показывает, что за 5 лет приведенная экономия составит не менее 4,9 млрд. тенге, за 10 лет – 11 млрд. тенге, за 16 лет – 14,7 млрд. тенге.

На примере перспективного Ломоносовского месторождения железных руд [48] показано развитие рабочей зоны на крутых бортах карьера овальной формы (рисунок 1.8). При таком развитии рабочей зоны в границах крутых бортов экскаваторы эксплуатируются на широких площадках, равных ширине поперечной панели, уменьшается подвалка откосов нижних уступов после взрывов за счет регулирования направления отбойки при многорядном короткозамедленном взрывании скважинных зарядов.

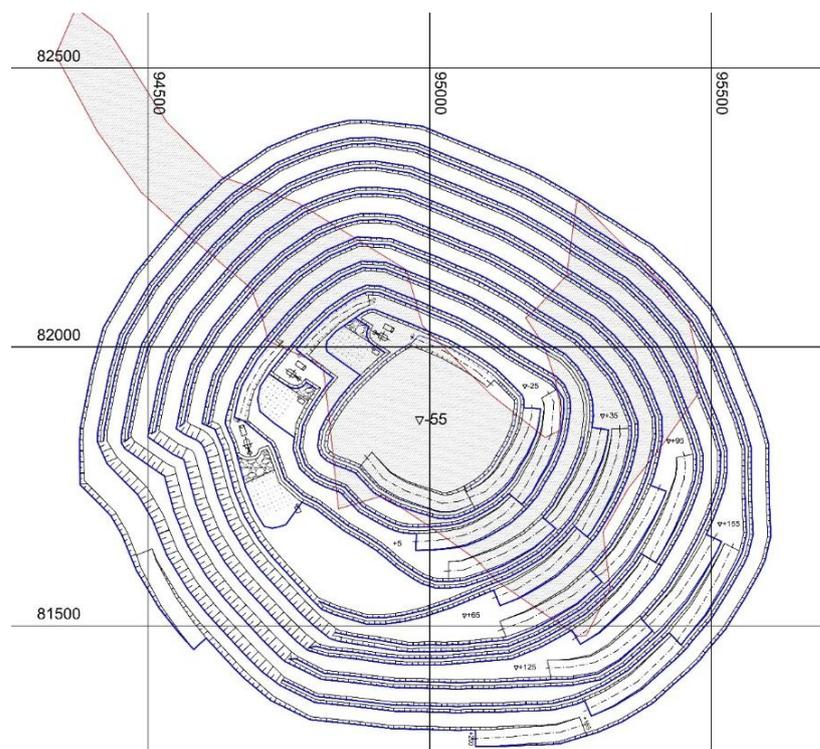


Рисунок 1.8 – Развитие рабочих зон вдоль крутых бортов на карьерных полях округлой формы на примере перспективного Ломоносовского месторождения железных руд

В качестве выемочно-погрузочной машины рассмотрено использование экскаваторов ЭКГ-32Г нового поколения, а для транспортирования руды и вскрышных пород – автосамосвалы БелАЗ грузоподъемностью 190 т. Использование мощных экскаваторов позволит создавать достаточные запасы добытой руды на дробильно-обогащительной фабрике. Тогда действительно нет необходимости соблюдать классические нормативы по вскрытым запасам руды. В каждом вновь прирезаемом технологическом слое (этапе отработки), равном ширине поперечной панели, при его отработке сверху вниз от дневной поверхности до вновь сооружаемого по дну карьера разрезного котлована будет вскрываться достаточное количество руды для выполнения годовых программ по выдерживанию проектной производственной мощности по ее добыче при минимальных объемах вскрышных работ.

В работе [49] обосновано поэтапное развитие рабочей зоны глубоких карьеров крутонаклонными слоями и диагональными блоками как один из наиболее эффективных способов управления режимом горных работ. Даны рекомендации по применению этой технологии для выемки вскрышных пород на глубоких железорудных карьерах Украины.

В качестве критерия оценки проектных решений принят известный из теории [50-51] коэффициент управления режимом горных работ:

$$k_{mm} = \frac{k_{mo}}{k_{ob}},$$

где k_{mm} - коэффициент управления режимом горных работ; k_{mo} - среднеэксплуатационный коэффициент вскрыши; k_{ob} – усредненный текущий коэффициент вскрыши в основной период разработки месторождения.

Целесообразность применения того или иного способа управления объемами вскрышных работ определяется с учетом конкретных условий открытой разработки и в общем случае можно принять по максимальной величине коэффициента управления режимом горных работ (k_{mm}).

Сопоставительный анализ способов управления режимом горных работ приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Сравнение способов управления режимом горных работ

№	Способы управления режимом горных работ	Коэффициент управления режимом горных работ
1	За счет сокращения ширины рабочих площадок	0,544
2	Поочередная отработка и постановка во временно нерабочее состояние смежных уступов в группе горизонтов карьера	0,576
3	Выделение этапов при разработке месторождений в плане и по глубине карьерного поля	0,637
4	Формирование рабочей зоны карьера по вскрыше высокими уступами	0,683
5	Развитие бортов карьера поперечными и диагональными заходками	0,701
6	Поэтапное развитие глубоких карьеров крутыми слоями на карьерных полях вытянутой формы	0,783
7	При одновременной отработке высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов на карьерных полях вытянутой формы	0,862
8	Развитие рабочей зоны вдоль крутых бортов на карьерных полях округлой формы (формирование фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов рабочего борта)	0,909

Пункты 7 и 8 в таблице 1.1 - разработки КазННТУ, при которых достигается наиболее оптимальный режим горных работ. По сравнению с наилучшим из известных - поэтапным развитием глубоких карьеров крутыми слоями на карьерных полях вытянутой формы - предлагаемая технология развития рабочих зон эффективнее на 10-15,5%.

На базе действующих и перспективных карьеров Казахстана при выполнении предпроектных проработок доказана техническая возможность и экономическая целесообразность перехода на отработку высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов при ориентации фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов

крутых бортов. Установлено, что при использовании мощных экскаваторно-автомобильных комплексов достигается последовательное ритмичное производство вскрышных и добычных работ в каждом последующем прирезаемом технологическом этапе отработки с экономичным календарным графиком горных работ.

Независимое развитие рабочей зоны относительно крутых бортов сверху вниз с минимально достаточными ее размерами при использовании мощных экскаваторно-автомобильных комплексов обеспечит концентрацию горных работ на постоянной основе при минимальных требуемых объемах выемки вскрышных пород без формирования временно нерабочих бортов и ежемесячного регулирования вскрываемых запасов руды непосредственно в карьере. Даже при тупиковом развитии фронта работ предлагаемые конструкции развития рабочей зоны вдоль крутых бортов позволяют организовать двухсторонний подъезд самосвалов к экскаватору и за счет уменьшения угла поворота экскаватора и более качественного дробления пород при многорядном короткозамедленном взрывании увеличить его производительность до 30-40%.

1.4 Выводы по главе

На базе действующих и перспективных карьеров Казахстана при выполнении предпроектных проработок доказана техническая возможность и экономическая целесообразность перехода на отработку высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов при ориентации фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов крутых бортов. Установлено, что при использовании мощных экскаваторно-автомобильных комплексов достигается последовательное ритмичное производство вскрышных и добычных работ в каждом последующем прирезаемом технологическом этапе отработки с экономичным календарным графиком горных работ. Независимое развитие рабочей зоны относительно крутых бортов сверху вниз с минимально достаточными ее размерами при использовании мощных экскаваторно-автомобильных комплексов обеспечит концентрацию горных работ на постоянной основе при минимальных требуемых объемах выемки вскрышных пород без формирования временно нерабочих бортов и ежемесячного регулирования вскрываемых запасов руды непосредственно в карьере. Даже при тупиковом развитии фронта работ предлагаемые конструкции развития рабочей зоны вдоль крутых бортов позволяют организовать двухсторонний подъезд самосвалов к экскаватору и за счет уменьшения угла поворота экскаватора и более качественного дробления пород при многорядном короткозамедленном взрывании увеличить его производительность до 30-40%.

2 РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ РАСКОНСЕРВАЦИИ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧЕГО БОРТА В ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ

2.1 Обоснование рациональных транспортных схем при расконсервации временно нерабочих уступов

Производственная мощность горнотранспортной схемы определяется конструктивными параметрами выемочно-погрузочных, транспортных и отвальных машин, схемой трассирования вскрывающих выработок и их провозной способностью, а также уровнем механизации перегрузки в смежных звеньях при комбинированных видах перевозки. Объем разноса бортов для проведения вскрывающих выработок, а также занимаемые ими площади предопределяются габаритами и тяговыми возможностями транспортных машин, способом проходки и требуемой провозной способностью схемы в целом. Процессы выемки и доставки всех разновидностей горной массы к пунктам приемки следует оценивать не только по величине вложенных затрат, но и по интенсивности загрузки сформировавшейся к этому времени в карьере горнотранспортной схемы. При этом минимальные затраты на перемещение горной массы в первую очередь обеспечиваются за счет рационального формирования грузопотоков с перевозкой горной массы по кратчайшему расстоянию и размещением транспортных коммуникаций на площадках с наименьшими размерами [52-53].

При разработке крутопадающих месторождений крутонаклонными слоями на нерабочих бортах карьера оставляются концентрационные горизонты. Эти горизонты служат постоянными площадками перемещения транспортных средств. Один из торцов карьера ставится в предельное положение и на нем располагаются капитальные транспортные съезды (рисунок 2.1).

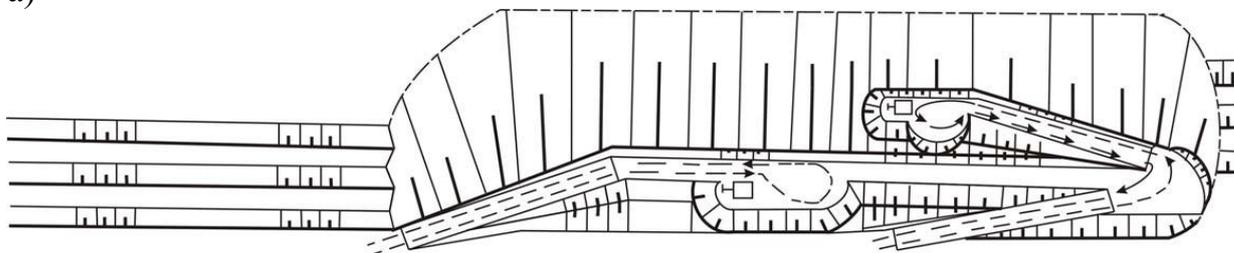
Конвейерный подъемник располагается либо в одном из торцов карьера с проведением подземных выработок (наклонный ствол, штрек), либо данный конвейер располагают на нерабочем борту карьера. На рабочем борту карьера располагаются скользящие съезды для движения автосамосвалов. Доставка горной массы осуществляется по рабочим и транспортным площадкам.

Грузоперевозки на рабочем борту осуществляются железнодорожным и автомобильным транспортом. На верхних горизонтах используется железнодорожный транспорт. Нижние горизонты вскрываются с использованием автомобильного транспорта. Для уменьшения расстояния транспортирования горной массы автосамосвалами внутри карьера в центральной части по простиранию залежи оборудуются автомобильно-железнодорожные перегрузочные пункты.

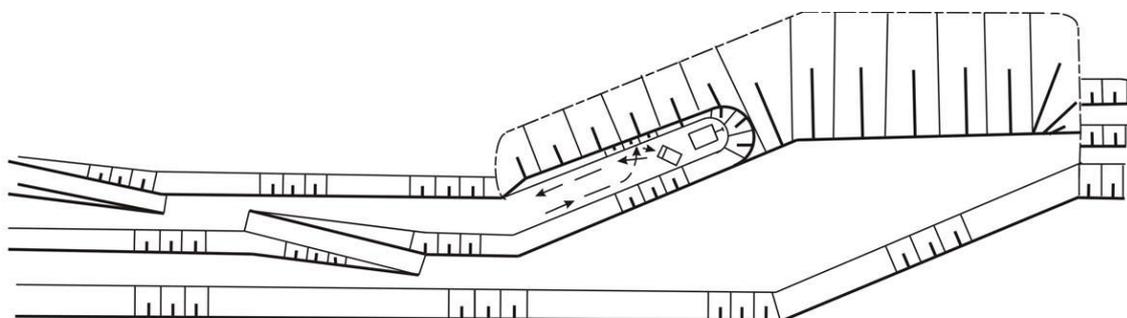
По мере подвигания фронта горных работ по простиранию возникает необходимость расконсервации и подвигания временно нерабочих уступов.

Развал формируется на концентрационный горизонт и перекрывает всю площадку, исключая возможность перемещения на нем транспорта. Поэтому расконсервация уступов осуществляется с оставлением верхнего концентрационного горизонта, позволяющего создавать скользящие съезды.

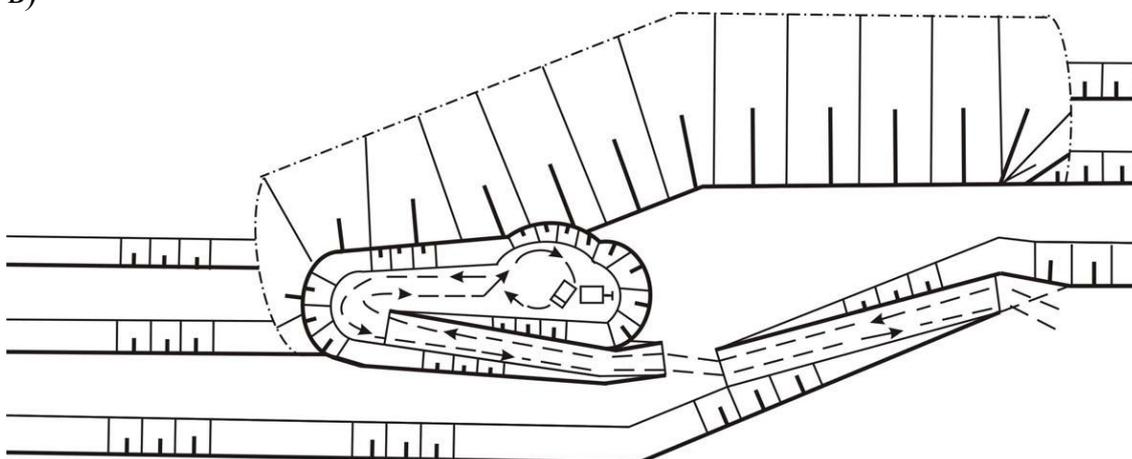
а)



б)



в)



- а) создании временных съездов с последующей обработкой горизонта;
- б) разработка горизонтов при нормальной ширине транспортных площадок;
- в) схема горнотранспортных работ при расконсервации этапа с последовательной обработкой каждого горизонта и созданием временных съездов

Рисунок 2.1 - Схемы разработки развала и транспортирования горной массы в пределах расконсервируемого этапа на временно нерабочих уступах

На расконсервируемых уступах работы начинаются с верхнего горизонта (рисунок 2.1б) и по мере его отработки переходят на нижние. Для развития работ съезды могут быть сформированы на полную глубину этапа капитальной полутраншеей, вскрывающей группу горизонтов (рисунок 2.1а), погоризонтно с созданием петлевых съездов.

Если параметры площадок, оставляемых между горизонтами (рисунок 2.1в), позволяют перемещать по ним автотранспорт, то в первую очередь создаются скользящие съезды, а затем каждый горизонт обрабатывается комплексом экскаватор-автосамосвал с перемещением горной массы на верхний или нижний концентрационный горизонт. Но создание на временно нерабочем участке таких площадок повлечет уменьшение угла временно нерабочего борта. Доставка горной массы автотранспортом при расконсервации временно нерабочих участков борта осуществляется по временным съездам на перегрузочные пункты железнодорожного и конвейерного транспорта.

Для повышения эффективности эксплуатации системы автомобильно-железнодорожных перевозок, расстояние применения автосамосвалов должно быть ограничено. При применении автомобильного транспорта среднее расстояние l_m (км) транспортирования внутрикарьерным сборочным автотранспортом определяется по формуле [54]:

$$l_m = l_{m.z} + l_{m.n} \quad (2.1)$$

где $l_{m.z}$ – расстояние транспортирования по горизонтальной части трассы, км;
 $l_{m.n}$ – расстояние транспортирования по наклонной части трассы, км.

Непрерывным условием применения комбинированного автомобильно-железнодорожного транспорта является наличие перегрузочных пунктов, которые рассредотачиваются в вертикальной плоскости карьера и по периметру его горизонтов. При этом горизонтальное и наклонное расстояния транспортирования автосамосвалами будут изменяться в зависимости от глубины расположения и числа перегрузочных пунктов p . Так, формула (2.1) может быть представлена в виде:

$$l_m = \frac{\sum l_{m.z} + p \cdot l_{m.n}}{p} \quad (2.2)$$

Средневзвешенное расстояние l_m (км) транспортирования горной массы автосамосвалами определяется по формуле:

$$l_m = \frac{\sum l_{m.z} \cdot S}{\sum S} + l_{m.n}, \quad (2.3)$$

где S – площадь зоны действия комбинированного транспорта (m^2), равная

$$S = \left[B_{\kappa} - 2 \cdot h_n \cdot \operatorname{ctg} \alpha - (2 \cdot i - 1) \cdot \frac{H_{\kappa} - h_n}{p} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \right] \cdot \frac{H_{\kappa} - h_n}{p}, \quad (2.4)$$

здесь B_{κ} – ширина карьера, м; i_p – руководящий уклон пути, тысячные; h_n – глубина перехода на комбинированный транспорт, м; H_{κ} – глубина карьера, м; α – средний угол погашения бортов карьера, градусы.

Наклонное расстояние транспортирования автосамосвалами не зависит от этапа разработки группы уступов и определяется в зависимости от числа концентрационных горизонтов и места расположения каждого из них в группе уступов. При установленном числе концентрационных горизонтов в карьере расположение их в группе уступов принципиально возможно по трем схемам. Концентрационный горизонт может располагаться соответственно в верхней, средней и нижней частях группы уступов. Для этих схем расположения концентрационного горизонта в группе уступов наклонное расстояние $l_{m.n}$ (км) транспортирования автосамосвалами определяется по следующим формулам [54]:

а) При расположении концентрационного горизонта в верхней части группы уступов:

$$l_{m.n} = \frac{\sum_{j=1}^{n_y} \frac{j \cdot h_y}{i_p}}{n_y \cdot 10^3} \quad (2.5)$$

где j – порядковый номер уступа; число уступов n_y (ед.), обрабатываемых на концентрационный горизонт i -го этапа, определяется по формуле:

$$n_y = \frac{H_{\kappa} - h_n}{p \cdot h_y} \quad (2.6)$$

здесь p – число концентрационных горизонтов в карьере, единицы; h_y – высота уступа, м.

б) При расположении концентрационного горизонта в верхней части группы уступов:

$$l_{m.n} = \frac{\sum_{j=1}^{\frac{n_y}{2}} \frac{\left(\frac{n_y}{2} - j\right) \cdot h_y}{i_p} + \sum_{j=1+\frac{n_y}{2}}^{n_y} \frac{\left(j - \frac{n_y}{2}\right) \cdot h_y}{i_p}}{n_y \cdot 10^3} \quad (2.7)$$

в) При расположении концентрационного горизонта в нижней части группы уступов:

$$l_{m.n} = \frac{\sum_{j=1}^{n_y} \frac{(n_y - j) \cdot h_y}{i_p}}{n_y \cdot 10^3} \quad (2.8)$$

Формулы (2.5, 2.7, 2.8) справедливы при четном числе уступов, обрабатываемых на один концентрационный горизонт. При нечетном числе уступов формулы для определения расстояния транспортирования примут вид соответственно:

а) При расположении концентрационного горизонта ниже середины группы уступов:

$$l_{m.n} = \frac{\sum_{j=1}^{\frac{n_y+1}{2}} \frac{\left(\frac{n_y+1}{2} - j\right) \cdot h_y}{i_p} + \sum_{j=\frac{n_y+3}{2}}^{n_y} \frac{\left(j - \frac{n_y+1}{2}\right) \cdot h_y}{i_p}}{n_y \cdot 10^3} \quad (2.9)$$

б) При расположении концентрационного горизонта выше середины группы уступов:

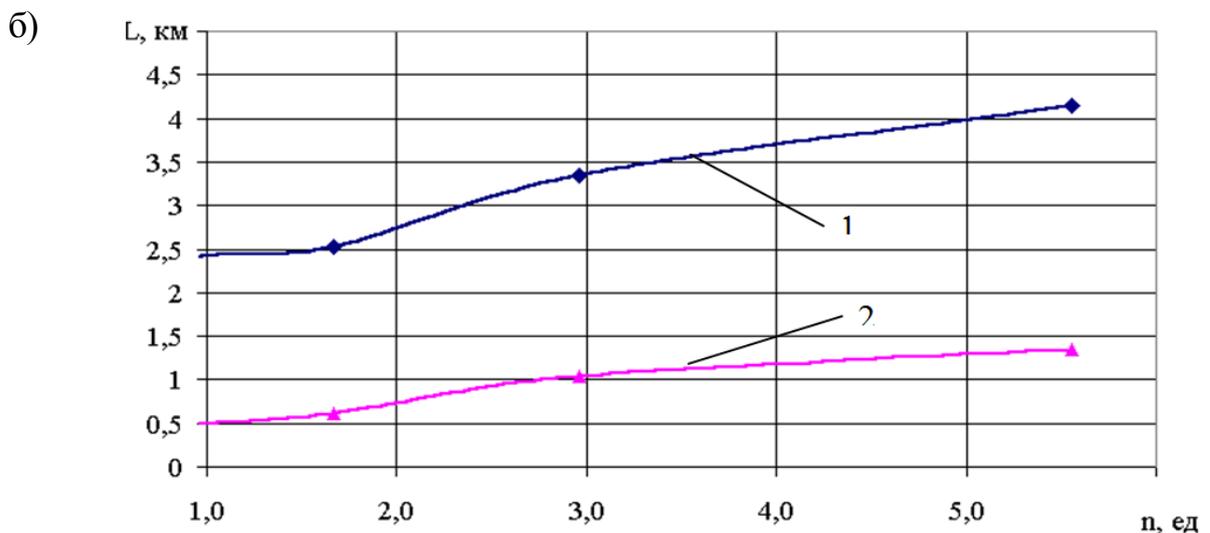
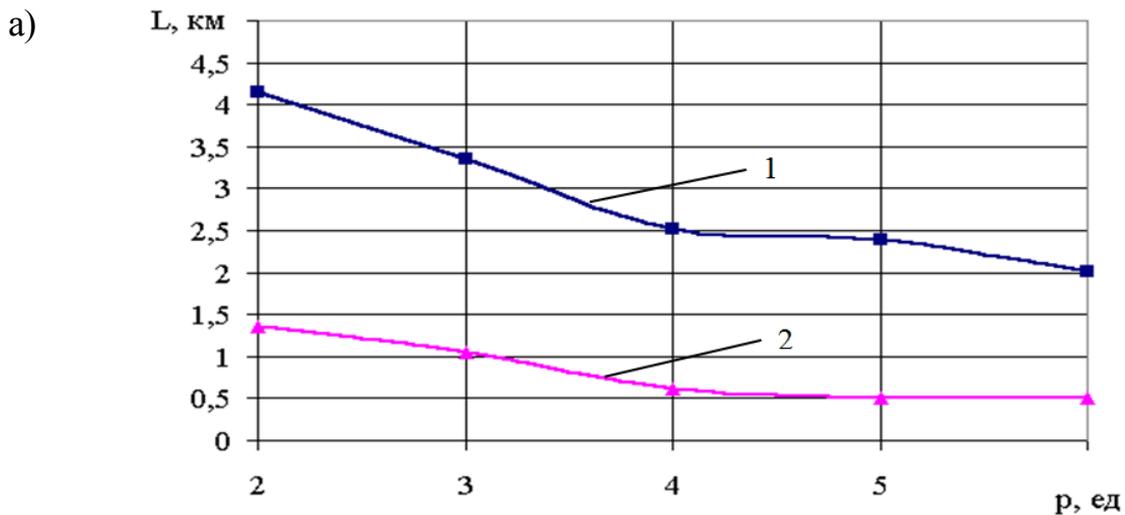
$$l_{m.n} = \frac{\sum_{j=1}^{\frac{n_y-1}{2}} \frac{\left(\frac{n_y-1}{2} - j\right) \cdot h_y}{i_p} + \sum_{j=\frac{n_y+1}{2}}^{n_y} \frac{\left(j - \frac{n_y-1}{2}\right) \cdot h_y}{i_p}}{n_y \cdot 10^3} \quad (2.10)$$

Изменение расстояния транспортирования автосамосвалами от числа концентрационных горизонтов при разгрузке горной массы на перегрузочном пункте показано на рисунке 2.2а. Доставка горной массы на перегрузочный пункт ведется из нижней и верхней частей по глубине. Перемещение автосамосвалов происходит по временным съездам. При этом количество концентрационных горизонтов, с которых доставляется горная масса, уменьшается с увеличением расстояния транспортирования по экспоненциальному закону.

Число обрабатываемых уступов влияет на расстояние транспортирования до перегрузочного пункта, как с верхних, так и с нижних рабочих горизонтов. Чем больше единиц уступов, с которых доставляется горная масса, тем значительней расстояние транспортирования. Из графиков рисунка 2.2б видно, что расстояние при перемещении грузов из верхней и нижней части составляет от 1 до 3,4 км.

Для улучшения основных технико-экономических показателей работы автомобильно-железнодорожного транспорта внутри карьеров создаются перегрузочные пункты. При переходе на комбинированный автомобильно-

конвейерный транспорт необходимо решать такие задачи, как выбор места расположения перегрузочного пункта и определение шага его переноса в плане и по высоте в зависимости от интенсивности развития горных работ. При автомобильно-железнодорожном транспорте эти вопросы решаются с учетом возможности ввода на горизонт перегрузки железнодорожных путей и расположения перегрузочных устройств по ширине рабочей площадки. Обычно расстояние транспортирования автосамосвалами достигает 0,8...1,2 км, реже 1,5...2,5 км [55].



1 – в верхней части группы уступов; 2 – в нижней части группы уступов

Рисунок 2.2 - Графики изменения расстояния транспортирования L от количества концентрационных горизонтов p (а) и числа уступов n (б) в зависимости от расположения перегрузочного пункта

Перегрузочные пункты оборудуются грохотильными, грохотильно-дробильными и дробильными установками. По мере углубки карьеров они переносятся на нижние горизонты через 40...80 м, а в некоторых случаях даже через 120...150 м. С точки зрения экономики оптимальное место расположения

перегрузочного пункта соответствует максимально возможному вводу в карьер коммуникаций железнодорожного транспорта. Рациональное расположение перегрузочного пункта соответствует минимуму функции себестоимости S_{mn} (у.е.) от расстояния перемещения груза l_{ij} [56]:

$$S_{mn} = \left[\sum_{j=1}^{\Delta} \sum_{i=1}^{\lambda} q_{ij} \cdot l_{ij} \cdot C'_t + l_n \cdot C''_t \cdot \sum_{j=1}^{\Delta} \sum_{i=1}^{\lambda} q_{ij} + l_n \cdot Q_{mp} \cdot C_p \right],$$

где q_{ij} – объем горной массы, вывозимой из элементарного экскаваторного блока, т; l_{ij} – расстояние транспортирования автосамосвалами от элементарного блока (с координатами i, j) к рассматриваемому положению пункта перегрузки, км; C'_t, C''_t – себестоимость транспортирования 1 т горной массы на расстояние 1 км соответственно автомобильным и железнодорожным транспортом, у.е./км; l_n – расстояние от пункта перегрузки до границы горизонта, км; Q_{mp} – объем горной массы, вынудой с 1 км траншеи для расположения железнодорожных путей, т/км; C_p – себестоимость подготовительных работ, у.е./т

Капитальные конвейерные подъемники и перегрузочные пункты обычно располагают на нерабочем борту на длительный или полный период эксплуатации месторождения, которые в процессе понижения горных работ в карьере удлиняются [57]. Подъемники располагают на лежащем боку или же в торце карьера. Расположение подъемников с занятием рабочего борта в практике открытых работ применяется редко. Для достижения минимальных расстояний автоперевозок высота расположения перегрузочных пунктов при переходе к работе на очередную схему вскрытия должна быть не более половины высоты рабочей зоны, а шаг переноса равен разности между высотами рабочей зоны и расположения пункта [58-60].

Разработка развала, формируемого при расконсервации временно нерабочего участка, в большинстве случаев происходит с созданием временных съездов. После того, как создается съезд, начинается развитие горных работ на горизонте. Учитывая параметры развала, с верхних горизонтов часть породы может грузиться в автотранспорт, а часть может разгружаться под откос. При разработке крутонаклонных слоев возможные схемы отработки горизонтов временно нерабочего участка борта карьера приведены на рисунках 2.1 и 2.3.

На рисунке 2.1а экскаватор создает временный съезд и отрабатывает начальный верхний горизонт по краю развала с возможной частичной отсыпкой горной массы под откос. По мере отработки первой заходки он возвращается назад на расстояние длины съезда и отрабатывает вторую заходку. Второй горизонт вскрывается другим экскаватором, который создает отдельный съезд с верхнего горизонта и временный съезд при вскрытии нижележащего уступа. Таким образом, транспорт к данным

выемочно-погрузочным машинам перемещается по отдельным съездам, что позволяет более интенсивно обрабатывать развал.

На рисунке 2.1б показан вариант горнотранспортных работ при имеющихся на каждом отдельном горизонте временно нерабочего участка транспортных площадок нормативной величины. При этом каждый горизонт временно нерабочего участка может обрабатываться отдельным экскаватором с опережением работ по верхним уступам. Предварительно создаются съезды на каждый уступ с концентрационного горизонта. Данная схема очень проста, но требует поддержания транспортных коммуникаций на временно нерабочих участках в надлежащем виде с определенными параметрами. Учитывая, что каждый уступ имеет транспортную площадку, угол откоса временно нерабочего участка (борта) уменьшается, что требует выемки больших объемов вскрышных пород.

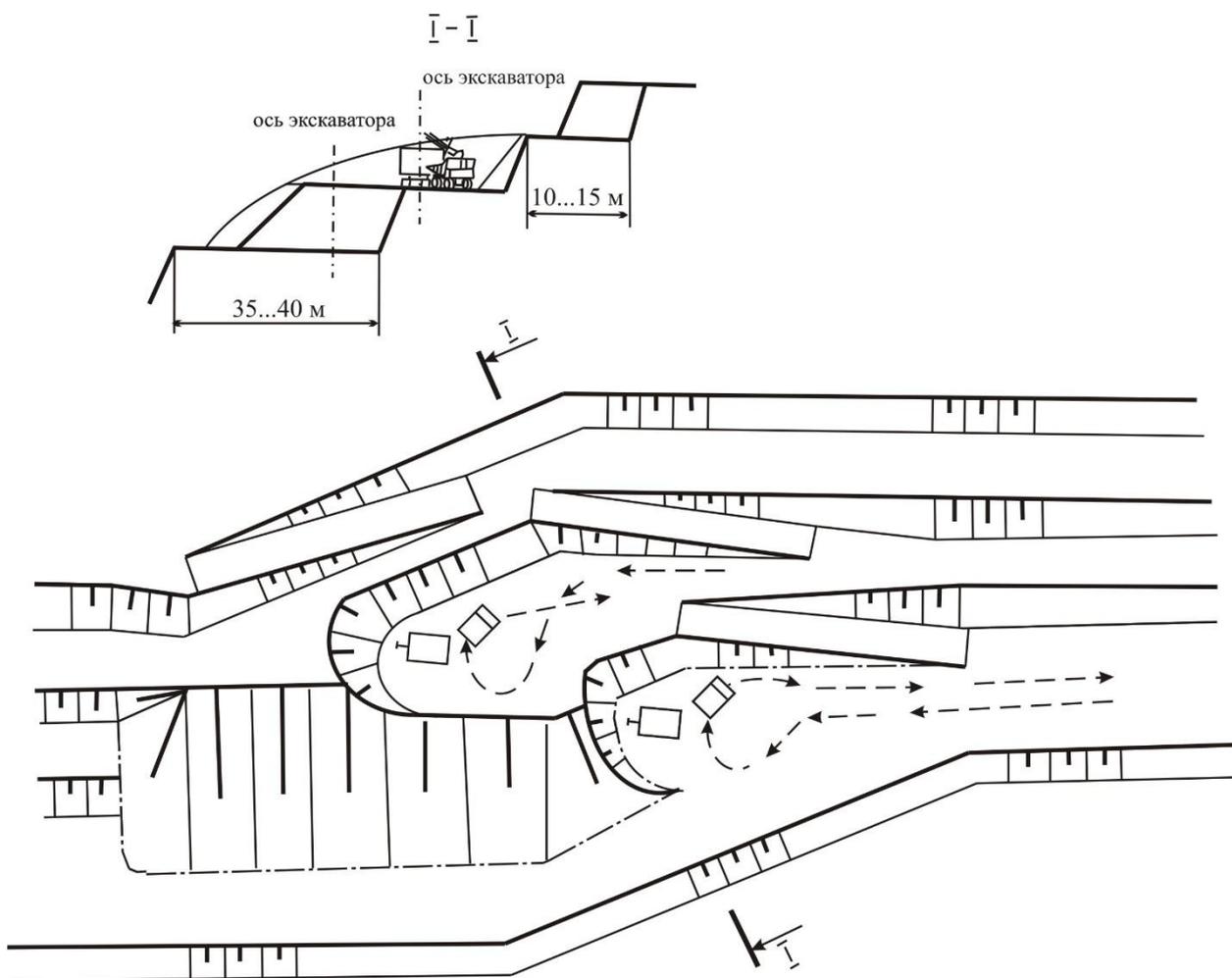


Рисунок 2.3 - Схема погоризонтной отработки развала этапа с разработкой двух уступов одновременно и формированием транспортных коммуникаций

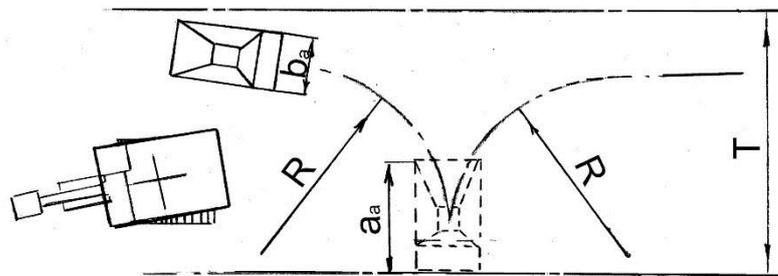
При небольших параметрах развала по длине, развитие транспортных путей происходит с петлевым разворотом трассы (рисунок 2.1в). Чтобы

улучшить показатели работы автосамосвалов рекомендуется кольцевое движение их в забое. Для того, чтобы осуществить маневр с петлевым разворотом необходимо формирование ниши. Разработка развала двумя уступами одновременно (рисунок 2.3) при небольших параметрах временно нерабочего участка возможно лишь на заключительной фазе отработки развала.

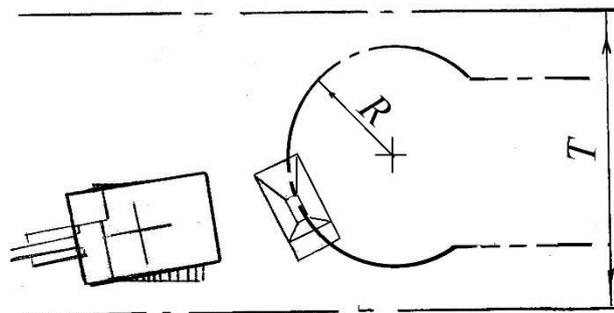
Первоначально при трехступенном временно нерабочем участке обрабатывается верхний горизонт с предварительным созданием временного съезда. По мере отработки верхнего горизонта делаются съезды на второй и нижележащий горизонты. В дальнейшем экскаватор, обрабатывающий нижний горизонт, частично подбирает горную массу возле временного съезда нижнего горизонта и постепенно подрабатывает средний (второй) горизонт с оставлением транспортной площадки на нем. Достоинством схемы является большая интенсивность отработки развала. Недостаток заключается в необходимости взаимного увязывания отработки среднего и нижнего уступов во времени, а также опережение работ на среднем горизонте на величину радиуса разворота автосамосвала и двух радиусов разгрузки ковша экскаватора.

Движение автосамосвалов на поверхности обрабатываемых горизонтов осуществляется с тупиковым маневром. Это связано с тем, что тупиковый разворот уменьшает площадку маневра, за счет чего увеличивается угол откоса временно нерабочего участка, но увеличивается время движения автосамосвала на горизонте (рисунок 2.4).

а)



б)



а – тупиковая, б – кольцевая

Рисунок 2.4 - Схема разворота автосамосвала в забое под погрузку экскаватор

Ширина транспортной полосы рассчитывается по условию минимальных параметров, необходимых при строительстве дороги. Основным параметром работы транспорта на рабочей площадке является радиус разворота автосамосвала. Минимальное его значение может быть обеспечено при тупиковом движении автосамосвала возле забоя (рисунок 2.4а):

$$T = \frac{a_a}{2} + \frac{b_a}{2} + R_a^{\min}, \quad (2.12)$$

где T – ширина транспортной площадки, м; a_a , b_a – длина и ширина автосамосвала, м; R_a^{\min} – минимальный радиус разворота автосамосвала по внешнему колесу, м.

При кольцевом движении автосамосвала вблизи экскаватора (рисунок 2.4б) ширина транспортной площадки T (м) вблизи забоя определяется по формуле:

$$T = b_a + 2 \cdot R_a^{\min}. \quad (2.13)$$

Например, при тупиковом развороте автосамосвала БелАЗ-75131 вблизи забоя параметры транспортной полосы составят 21 м, при кольцевом – 30,6 м.

Ширина проезжей части дороги для автосамосвалов БелАЗ-75131 составляет 19,5 м, обочины - 1,5 м, ограждающего вала не менее 3 м. От кромки проезжей части до откоса вышележащего уступа расстояние должно быть не менее 1 м. Уширение проезжей части при радиусе кривой в плане 30 м составляет 3 м. Скорость движения автосамосвала при развороте на радиусе кривой принимается не более 20 км/ч. С учетом срока действия до 1 года уклон карьерных дорог II-ой и III-ей категорий, к которым относятся дороги на временно нерабочем участке, допускается увеличивать на 10 %. На спусках в грузовом направлении наибольшие продольные уклоны не должны превышать 70 %. Поперечный уклон проезжей части на вираже составляет до 60 %. При грузоподъемности автотранспорта 75...120 т высота удерживающего грунтового вала составляет 3,5 м. Дороги могут быть улучшены за счет щебеночного покрытия.

На основании статистической обработки наблюдений многочисленных случаев вывалов горной массы из уступов [61] и результатов опытов на моделях предложена формула для определения ширины улавливающей площадки x_m (м):

$$x_m = \frac{\alpha_y + 45^0}{450} \cdot h_y, \quad (2.14)$$

где α_y – угол откоса уступа, град; h_y – высота уступа, м.

Ширина транспортной площадки b_{mn} (м) определяется по условию безопасной работы горнотранспортного оборудования. Минимальная ширина транспортной площадки (рисунок 2.5) составляет [51]:

$$b_{mn} = Z + b_n + T + c + K + x_m, \quad (2.15)$$

где Z – призма возможного обрушения, м, равная

$$Z = h \cdot (\text{ctg} \alpha_e - \text{ctg} \alpha_y), \quad (2.16)$$

здесь α_e , α_y – соответственно естественный угол откоса горных пород и угол откоса уступа, град; b_n – ширина предохранительного вала, м; T – ширина транспортной полосы автосамосвала, м; c – предохранительная полоса, м; K – ширина водоотводной канавки, м; x_m – улавливающая площадка, м.

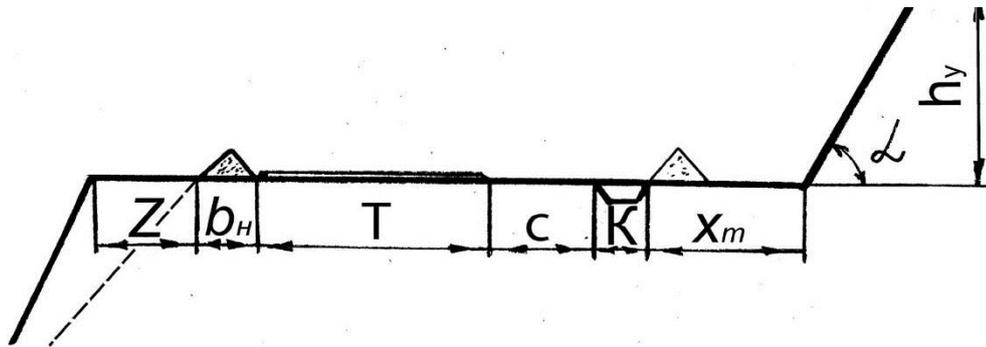


Рисунок 2.5 - Ширина рабочей площадки с улавливающей (x_m) просыпи площадкой

Минимальная ширина рабочей площадки составляет 35м, а транспортной полосы – 19...27, в зависимости от маневра разворота автомашины.

2.2 3D модель поэтапных контуров карьера и метод оптимизации коэффициента вскрыши

В работе [62] предлагается 3D модель поэтапного развития оптимальных контуров карьера овальной формы. Предполагается, что с достаточной точностью для практики его объемный контур интерполируется вытянутым эллиптическим гиперboloидом. В зависимости от этапа

разработки выводятся расчетные формулы по полезному ископаемому и определяются оптимальные объемы вскрышных пород. При этом общее количество этапов разработки задается заранее. Составленный коэффициент вскрыши используется в качестве критерия качества оптимизационной задачи. Используя функцию Беллмана в динамическом программировании, решается задача оптимального управления. В результате решения оптимизационной задачи получены в конечной форме все необходимые расчетные формулы. Их простота и обоснование каждого вывода дают уверенность в том, что результаты настоящего исследования с успехом могут применяться при практических расчетах проектирования и планирования горных работ на открытой разработке месторождений полезных ископаемых.

Одним из сдерживающих факторов внедрения инновационных технологий на открытой разработке месторождений полезных ископаемых являются имеющиеся сложности их реализации в практике проектирования. При создании 3D модели поэтапного развития контуров карьера в работах [63-65] был рассмотрен случай для рудных месторождений округлой формы. При этом карьер получался формы усеченного конуса, что характерно в основном при разработке кимберлитовых месторождений. Использование в 3D моделировании поэтапных контуров карьера по горизонтальным сечениям одномерного сплайна второго порядка, а при описании боковых поверхностей рудного тела – двумерного сплайна позволило решать эту задачу на цифровых моделях месторождений. При оптимизации объемов вскрышных пород и руды, а также поэтапного определение коэффициента вскрыши позволило учитывать наклон бортов карьера по этапам отработки крутопадающих месторождений через установление на каждом из них оптимального радиуса контуров боковых поверхностей. Однако практика показывает, что основная часть карьеров имеет овальную форму.

Современное проектирование производства на горном предприятии, планирование и распределение ресурсов основаны на математических моделях программирования. На практике оптимальное решение не может быть достигнуто без рассмотрения всех возможных комбинаций и перестановок последовательности экстракции. Методы исследования операций имеют ограниченное применение в крупномасштабных горнодобывающих операциях на поверхности, так как число переменных становится слишком большим. Из многочисленных исследований по изучению развития и планирования карьерного пространства для решения задач данного проекта представляет интерес работа [66], в которой разработана и апробирована гибридная основа моделирования задачи планирования открытой разработки.

При выборе схем Pushback-подход [67] можно увеличить NPV проекта за счет минимизации коэффициента вскрыши в первые годы жизни рудника.

При описании динамики перемещения рабочей зоны вдоль крутых бортов будут полезными подходы по решению проблемы оперативного планирования открытых горных работ с динамическим распределением

технологического автотранспорта, изложенные в работе [68]. Разработанный и протестированный в реальных условиях гибридный алгоритм сочетает характеристики двух метаэвристик: Greedy Randomized Adaptive Search Procedures (случайная приспособливающаяся процедура поиска) и General Variable Neighborhood Search (общая переменная в районе поиска).

Описанные модели позволяют на стадии технико-экономического обоснования определить некоторые искомые параметры карьера. Однако здесь решается другая математическая задача – минимизация объемов вскрышных работ по этапам формирования 3D модели карьера овальной формы также на цифровой модели месторождения. Важность ее создания продиктована необходимостью постоянного ведения горных работ на крутых бортах глубоких карьеров без формирования временно нерабочих бортов.

Апробация разработанной технологии безопасного интенсивного развития рабочих зон вдоль крутых бортов на цифровой модели Ломоносовского месторождения железных руд показала, что есть резервы по минимизации объемов вскрышных работ при поэтапной разработке крутопадающих месторождений без формирования временно нерабочих бортов [29, 30, 35]. С целью повышения качества проектирования этой технологии разработана методика оптимизации поэтапных объемов вскрышных пород и руды на 3D модели карьера овальной формы [69].

Применяя принцип математической индукции, выводим общую формулу:

$$V_b(t) = V_{gm}(t) - V_{gm}(t-1) - V_r(t), \quad t = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (2.17)$$

Задавая $V_b(0)$, V_r и $V_b = V_b(n) - V_r$ и решая оптимизационную задачу методом динамического программирования, определяются оптимальные объемы вскрыши и руды на каждом этапе отработки, где каждый этап представляет из себя один крутонаклонный слой:

$$V_b^*(t), V_r^*(t), \quad t = 1, 2, \dots, n. \quad (2.18)$$

Следует отметить, что решения оптимизационной задачи в 3D формате в методическом плане ничем не отличается от 2D случая. Последнее приведено в работах [70-72]. В дальнейшем будем иметь дело только с оптимальными величинами. В связи с этим для удобства записи будем пропускать знак оптимальности "*". Зная величины, указанные в (2.18), будем определять оптимальные параметры контуров карьера по этапам отработки.

Используем формулу (2.18) для этапа отработки t [69]. Тогда:

$$V_r(t+1) = \int_{z_t}^{z_{t+1}} S(z) dz = a_0 b_0 \int_{z_t}^{z_{t+1}} \left(\frac{z^2}{c^2} + 1 \right) dz = a_0 b_0 \left(\frac{z^3}{3c^2} + z \right) \Bigg|_{z_t}^{z_{t+1}} =$$

$$= a_0 b_0 \left(\frac{z_{t+1}^3}{3c^2} + z_{t+1} - \frac{z_t^3}{3c^2} - z_t \right).$$

То есть:

$$V_r(t+1) = a_0 b_0 \left(\frac{z_{t+1}^3}{3c^2} + z_{t+1} - \frac{z_t^3}{3c^2} - z_t \right), \quad t = 1, 2, \dots, n. \quad (2.19)$$

Решая кубическое уравнение (2.19) численным методом, определяются оптимальные значения:

$$z_{t+1}, \quad t = 0, 1, 2, \dots, n-1.$$

Отметим, что $z_0 = 0$.

Уравнение (2.19) имеет единственное решение. Корень этого уравнения численно определяется методом Ньютона. В качестве стартовой точки можно брать z_- (рисунок 2.6).

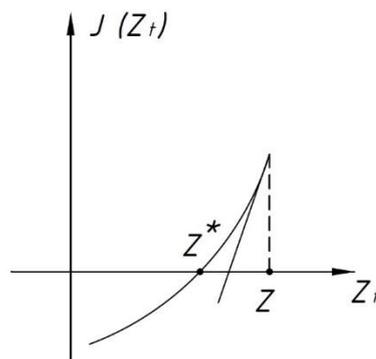


Рисунок 2.6 – Схема решения кубического уравнения

Для того, чтобы найти оптимальные значения a_i и b_i , решаются уравнения:

$$\frac{a_{t+1}^2}{a_0^2} = \frac{z_{t+1}^2}{c^2} + 1, \quad \frac{b_{t+1}^2}{b_0^2} = \frac{z_{t+1}^2}{c^2} + 1. \quad (2.20)$$

Тогда:

$$a_{t+1} = a_0 \sqrt{\frac{z_{t+1}^2}{c^2} + 1}, \quad b_{t+1} = b_0 \sqrt{\frac{z_{t+1}^2}{c^2} + 1}, \quad t = 0, 1, 2, \dots, n-1. \quad (2.21)$$

Чтобы найти оптимальные значения углов γ_t и σ_t , обращаемся к формуле (2.11). Перепишем его в виде:

$$V_b(t) = b_t \operatorname{ctg} \gamma_t \left[(z_t + H)^3 - h_t^3 \right] - b_{t-1} \operatorname{ctg} \gamma_{t-1} \left[(z_{t-1} + H)^3 - h_{t-1}^3 \right] - a_0 b_0 \left(\frac{z_t^3}{3c^2} + z_t - \frac{z_{t-1}^3}{3c^2} - z_{t-1} \right). \quad (2.22)$$

В этом уравнении $h_t = a_t \operatorname{tg} \gamma_t$. Введем обозначения:

$$A_t = \frac{b_{t-1}}{b_t} \operatorname{ctg}(\gamma_{t-1}) \left[(z_{t-1} + H)^3 - h_{t-1}^3 \right] - \frac{1}{b_t} V_r(t), \quad h_{t-1} = a_{t-1} \operatorname{tg}(\gamma_{t-1}), \quad t = 1, 2, \dots, n-1 \quad (2.23)$$

Получается кубическое уравнение относительно $f_t = \operatorname{tg} \gamma_t$:

$$a_0^3 f_t^3 + A_t f_t - (z_t + H)^3 = 0, \quad (2.24)$$

для которого определяются f_t , $t = 1, 2, \dots, n-1$.

Используя решения кубических уравнений, вычисляются оптимальные значения углов наклона бортов карьера в продольном направлении следующим образом:

$$\gamma_t = \operatorname{arctg}(f_t) \quad t = 1, 2, \dots, n-1.$$

Чтобы найти углы наклона в поперечном направлении контуров карьера, воспользуемся равенствами:

$$a_t \operatorname{tg}(\gamma_t) = b_t \operatorname{tg}(\sigma_t), \quad t = 1, 2, \dots, n-1.$$

Определяются σ_t , $t = 0, 1, 2, \dots, n-1, n$.

Теперь приступим к вычислению наружных размеров карьера овальной формы. Обозначим через M_t – ось эллипса на его поверхности в продольном направлении, а через N_t – ось эллипса на его поверхности в поперечном направлении (рисунок 2.7). Используя оптимальные величины z_t, γ_t и σ_t , составляются тригонометрические соотношения и определяются задаваемые параметры:

$$M_t = a_t + (z_t + H) \operatorname{tg} \gamma_t; \quad (2.25)$$

$$N_t = b_t + (z_t + H) \operatorname{tg} \sigma_t, \quad (2.26)$$

где $t = 0, 1, 2, \dots, n-1, n$.

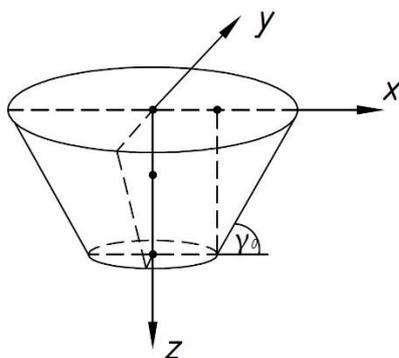


Рисунок 2.7 – Вертикальное и продольное поперечные сечения для вычисления M_t и N_t

2.3 Алгоритм решения задачи нелинейного оптимального управления при оптимизации контуров этапов обработки карьерных полей округлой формы

Оптимизация режима горных работ для созданной 3D модели поэтапной обработки крутопадающих месторождений крутонаклонными слоями имеет свои особенности. По периметру бортов карьера на каждом этапе обработки необходимо обеспечить равномерное распределение вскрываемых запасов руды с минимизацией поэтапного коэффициента вскрыши.

Пусть S_w - общий объем извлекаемой породы, S_r - объем извлекаемой руды, $u(t)$ - объем извлекаемой породы на этапе обработки t , $v(t)$ - объем добываемой руды на этапе обработки t . С учетом введенных обозначений поэтапный коэффициент вскрыши определяется по формуле:

$$k(t) = \frac{u(t)}{v(t)}, \quad t=1, 2, \dots, n.$$

Известно, что при положительных $u(t)$ и $v(t)$ минимальные значения функций $k(t)$ и $k^2(t)$ достигаются в одних и тех же точках в области определения функций $u(t)$ и $v(t)$. Поэтому в дальнейшем будем решать задачу:

$$K(u, v) = \sum_{t=1}^n \frac{u^2(t)}{v^2(t)} \rightarrow \min. \quad (2.27)$$

Из практического смысла объема породы $u(t)$ следует, что на каждом этапе обработки надо стремиться к тому, чтобы извлекаемый объем породы был минимальным. Но с другой стороны, с точки зрения технологии горных

работ, весь объем породы и руды должен быть извлечен в конце последнего этапа n . С учетом этого составляются следующие разностные уравнения:

$$x(t) = x(t-1) + u(t), \quad y(t) = y(t-1) + v(t), \quad t = 1, 2, \dots, n, \quad (2.28)$$

где $x(t)$ - суммарный объема извлекаемой породы до этапа t включительно; $y(t)$ - суммарный объема извлекаемой руды на этапе t .

Кроме того, имеются очевидные равенства:

$$x(n) = S_w, \quad y(n) = S_r. \quad (2.29)$$

Обозначим через $x(0)$ - объем извлекаемой породы на нулевом этапе отработки, а через $y(0)$ - объем извлекаемой руды на нулевом этапе отработки. Поэтому:

$$x(t) \in [x(0); S_w] \equiv X, \quad y(t) \in [y(0); S_r] \equiv Y, \quad (2.30)$$

$$u(t) \in [0; S_w - x(0)] \equiv U, \quad v(t) \in [0; S_r - y(0)] \equiv V.$$

Здесь через X , Y и U , V обозначены множества допустимых значений соответственно состояний $x(t)$, $y(t)$ и управления $u(t)$, $v(t)$. Это означает, что оптимальное решение системы (2.28)-(2.30) находим таким образом, чтобы имели место включения:

$$x^*(t) \in X, \quad y^*(t) \in Y, \quad u^*(t) \in U, \quad v^*(t) \in V; \quad t=1, 2, 3, \dots, n. \quad (2.31)$$

Иногда применяется векторное обозначение, так называемые набор состояний:

$$\vec{x} = (x(0), x(1), \dots, x(n)), \quad \vec{y} = (y(0), y(1), \dots, y(n)). \quad (2.32)$$

В нашем случае это состояния объема извлеченной породы и руды. Каждая компонента вектора \vec{x} , \vec{y} является положительной величиной, причем имеет место неравенство:

$$x(0) < x(1) < x(2) < \dots < x(n), \quad y(0) < y(1) < y(2) < \dots < y(n). \quad (2.33)$$

Аналогично, $\vec{u} = (u(1), u(2), \dots, u(n))$, $\vec{v} = (v(1), v(2), \dots, v(n))$ - набор векторов управления, который называется управлением разработки

месторождения.

Функция $K(u, v)$ является сепарабельной, поэтому для минимизации функционала (2.28) применили метод динамического программирования, разработанный Беллманом [73-76]. Его реализация при оптимизации режима горных работ подробно изложена в работах [72, 73].

2.4 Алгоритм оптимизации расконсервации временно нерабочего борта крутонаклонными слоями

Необходимо найти оптимальное значение ширины поперечной панели (B_{σ}), при определенном значении которой выполняется ликвидация ВНБ, а также можно гарантировать достижение проектной производственной мощности при минимальном значении среднеэксплуатационного коэффициента вскрыши в исследуемых границах работы карьера. При выборе пределов изменения ширины поперечной панели от минимума до максимума учитывали возможность применения многорядного короткозамедленного взрывания скважинных зарядов с минимальной подвалкой нижних уступов и увеличение срока эксплуатации временных вскрывающих выработок для отработки верхних частей уступов.

Решение поставленной задачи достигается последовательным определением параметров конструкции рабочего борта в добычной и вскрышной зонах по каждому крутонаклонному слою. После подсчета поэтапных объемов вскрыши и запасов руды вычисляются требуемые годовые объемы вскрышных работ и производится их усреднение с учетом обеспечения равномерного плавного изменения значений текущего коэффициента вскрыши в календарные годы.

С учетом изложенного в качестве показателя эффективности принят среднеэксплуатационный коэффициент вскрыши ($k_{всз}$) в исследуемых границах карьера за k_j этапов отработки. Минимум показателя эффективности

$$k_{всз} = \frac{\sum_{j=1}^{k_j} V_{\sigma j}}{\sum_{j=1}^{k_j} Z_j} \rightarrow \min \quad (2.34)$$

достигается при определенном значении ширины поперечной панели B_{σ} с учетом соблюдения следующих условий:

$$B_{тба} + 15 \leq B_{\sigma} \leq B_{pa}, \quad (2.35)$$

$$H_{\partial j} - H_{\partial zj} + h_{\text{сан}} > H_{\text{взj}} > H_{\partial j} - H_{\partial zj}, \quad (2.36)$$

$$k_{\text{вм}(i-1)} \leq k_{\text{вми}} \text{ при } A_{\text{квi}} = Q_{\text{кв}} = \text{const}, \quad (2.37)$$

$$V_{\text{вми}} - V_{\text{вм}(i-1)} \leq 4,0 \times 10^6, \quad (2.38)$$

где $k_{\text{всз}}$ - среднеэксплуатационный коэффициент вскрыши, м³/т; $V_{\text{вj}}$ - объем вскрышных пород в пределах j -го этапа отработки, м³; k_j - число этапов отработки в исследуемых границах карьера, шт.; Z_j - запасы руды в пределах j -го этапа отработки, т; $B_{\text{мба}}$ - ширина транспортной бермы между уступами для автосамосвалов, м; $B_{\text{ра}}$ - ширина рабочей площадки при использовании ЭАК по проекту, м; $H_{\partial j}$ - глубина карьера в пределах j -го этапа отработки, м; $H_{\partial zj}$ - высота добычной зоны в пределах j -го этапа отработки, м; $h_{\text{сан}}$ - высота вскрышного подступа в коренных крепких породах, м.

Ограничивающее условие (2.35) характеризует пределы изменения ширины поперечной панели $B_{\text{с}}$, (2.36) обеспечивает соответствие темпов вскрышных работ производственной мощности карьера по добыче руды со снижением ее засорения породой, (2.37) и (2.38) оптимизируют режим горных работ за счет равномерного плавного изменения значений текущего коэффициента вскрыши $k_{\text{вми}}$ в каждый i - год с постепенным его увеличением при достижении годовой производительности карьера по руде $A_{\text{квi}}$ производственной мощности $Q_{\text{кв}}$ и исключения значительного увеличения годовой производительности карьера по вскрыше $V_{\text{вми}}$.

Меньшее значение $B_{\text{с}}$ обеспечит минимальный объем вскрышных работ, однако при этом увеличатся затраты на проходку временных вскрывающих выработок. В условии (2.35) при минимуме величины $B_{\text{с}}$ конструктивный угол наклона нижней части вскрышной зоны в границах использования ЭАК приближается к устойчивому его значению, однако может ограничить вскрываемые запасы руды. Увеличение $B_{\text{с}}$ позволит значительно уменьшить подвалку нижерасположенных уступов после взрывов за счет направления фронта отбойки скважинных зарядов вдоль борта карьера и повысит качество дробления за счет увеличения времени соударения разрушающихся кусков горных пород при многорядном короткозамедленном взрывании.

Логически составленная математическая модель первоначально выполняет горно-геометрический анализ в исследуемых границах карьерного

поля, а затем производит трансформацию его результатов в проектный календарный график горных работ. В процессе ее создания выведен ряд необходимых аналитических зависимостей, которые без выводов приведены ниже в требуемой последовательности.

Определяется количество одновременно обрабатываемых добычных уступов по формуле [3,77]:

$$n_{\partial j} = \frac{M_j - b_{pm} - h_{\partial n}(\operatorname{ctg} \alpha_{\partial} + \operatorname{ctg} \alpha_{\partial y}) - B_{m\partial j}}{B_{p\partial} + h_{\partial}(\operatorname{ctg} \alpha_{\partial} + \operatorname{ctg} \beta_j)}, \quad (2.39)$$

где M_j – горизонтальная мощность рудной залежи на j -ом этапе отработки, м; b_{pm} – ширина дна разрезной траншеи по руде, м; $h_{\partial n}$ – высота нарезаемого добычного уступа, м; α_{∂} – угол откоса добычного уступа, град; $\alpha_{\partial y}$ – устойчивый угол откоса добычного уступа, град; $B_{m\partial j}$ – транспортная берма на нерабочем борту на j -ом этапе отработки, равная $B_{m\partial j} = h_d(\operatorname{ctg} \beta_j - \operatorname{ctg} \alpha_{\partial y})$, м; $B_{p\partial}$ – ширина рабочей площадки добычного уступа без учета ширины блока-панели $B_{\partial n\partial}$ по минимуму, м; h_{∂} – высота добычного уступа, м; β_j – угол падения по подошве обрабатываемой рудной залежи в границах j -го этапа отработки, град.

Принимается целое число:

$$n_{\partial j} := [n_{\partial j}], \quad (2.40)$$

где функция $[x]$ выдает целую часть величины x .

Определяется высота добычной зоны на j -ом этапе отработки $H_{\partial zj}$ по формуле:

$$H_{\partial zj} = h_{\partial n} + \sum_{j=1}^{n_{\partial j}} h_{\partial}. \quad (2.41)$$

Определяется количество вскрышных подступов при их отработке ЭАК поперечными панелями на j -ом этапе отработки по формулам:

$$\text{если } n_{\text{ван}j} := [n_{\text{ван}j}], \text{ то} \quad n_{\text{ван}j} = \frac{H_{\partial j} - H_{\partial zj} - H_{\text{вжс}}}{h_{\text{ван}}}, \quad (2.42)$$

$$\text{если } n_{\text{ван}j} > [n_{\text{ван}j}], \text{ то} \quad n_{\text{ван}j} = [n_{\text{ван}j}] + 1, \quad (2.43)$$

где $H_{\text{вжс}}$ – высота зоны работы на вскрыше ЭЖК, м.

При построении конструкции рабочего борта на каждом j -ом этапе отработки такие выкладки обеспечивают понижение уровня контакта вскрышной зоны с кровлей рудной залежи ниже горизонта положения верхней площадки верхнего добычного уступа, т.е. должно обеспечиваться условие (2.36).

Определяется высота нижней части вскрышной зоны $H_{\text{ва}j}$ на каждом j -ом этапе отработки в границах работы ЭАК по формуле:

$$H_{\text{ва}j} = \sum_{j=1}^{n_{\text{ван}j}} h_{\text{ван}} . \quad (2.44)$$

Определяется высота вскрышной зоны $H_{\text{вз}j}$ на каждом j -ом этапе отработки по формуле:

$$H_{\text{вз}j} = H_{\text{вжс}} + H_{\text{ва}j} . \quad (2.45)$$

Определяется количество предохранительных берм на j -ом этапе отработки по формуле:

$$N_{\text{нб}j} = n_{\text{ван}j} - 1 . \quad (2.46)$$

Определяется угол откоса нижней части вскрышной зоны $\gamma_{\text{в}j}$ на каждом j -ом этапе отработки, обрабатываемой с использованием ЭАК, по формуле:

$$\gamma_{\text{ва}j} = \text{arctg} \frac{\sum_{j=1}^{n_{\text{ван}j}} h_{\text{ван}}}{\text{ctg} \alpha_{\text{в}} \sum_{j=1}^{n_{\text{ван}j}} h_{\text{ван}} + N_{\text{нб}j} B_{\text{нб}}} , \quad (2.47)$$

где $n_{\text{ва}j}$ - количество целых уступов в зоне работы ЭАК на j -ом этапе отработки, $n_{\text{ва}j} = [0,5n_{\text{ван}j}]$, шт.

Зная горизонтальную мощность залежи и параметры добычной зоны на каждом j -ом этапе отработки, определяются площади вскрываемых запасов по добычным уступам и разрезной траншее, примыкающей к подошве нижнего угольного пласта.

При отработке карьерного поля несколькими добычными участками с различным положением горных выработок (уступов) такие операции производят отдельно для каждого из них, что позволяет повысить точность планирования через усреднение значений площадей.

Для каждого j -ого этапа отработки определяют длину фронта работ по добычным уступам и разрезной траншее.

Определяем вскрываемые запасы руды по каждому j -ому этапу отработки с учетом разной ее плотности на различной глубине.

На каждом j -ом этапе отработки определяются площади нижней части вскрываемой зоны в границах работы ЭАК, отдельно при $j=1$ с учетом фактического положения рабочего борта и для последующих при $j \geq 2$ по формулам:

$$S_{\text{ва}(j=1)} = 0,5[2B_{\text{нв}(j=1)} + (H_{\text{ва}(j=1)} - H_{\text{ва}(j=0)})(\text{ctg} \beta_{\kappa(j=1)} + \text{ctg} \gamma_{\text{ва}(j=1)})](H_{\text{ва}(j=1)} - H_{\text{ва}(j=0)} + 0,5[2(H_{\text{ва}(j=1)} - H_{\text{ва}(j=0)})(\text{ctg} \beta_{\kappa(j=1)} + \text{ctg} \gamma_{\text{ва}(j=1)}) + 2B_{\text{нв}(j=1)} + H_{\text{ва}(j=1)} \text{ctg} \gamma_{\text{ва}(j=1)} - (H_{\text{ва}(j=1)} - H_{\text{ва}(j=0)}) \text{ctg} \gamma_{\text{ва}(j=1)} - H_{\text{ва}(j=0)} \text{ctg} \gamma_{\text{ва}(j=0)})]H_{\text{ва}(j=0)} ;$$

$$S_{\text{ва}j} = 0,5[2B_{\text{нв}j} + (H_{\text{ва}j} - H_{\text{ва}(j-1)})(\text{ctg} \beta_{\kappa j} + \text{ctg} \gamma_{\text{ва}j})](H_{\text{ва}j} - H_{\text{ва}(j-1)} + 0,5[2(H_{\text{ва}j} - H_{\text{ва}(j-1)})(\text{ctg} \beta_{\kappa j} + \text{ctg} \gamma_{\text{ва}j}) + 2B_{\text{нв}j} + H_{\text{ва}j} \text{ctg} \gamma_{\text{ва}j} - (H_{\text{ва}j} - H_{\text{ва}(j-1)}) \text{ctg} \gamma_{\text{ва}j} - H_{\text{ва}(j-1)} \text{ctg} \gamma_{\text{ва}(j-1)})]H_{\text{ва}(j-1)} . \quad (2.48)$$

На каждом j -ом этапе отработки определяется средневзвешенная длина фронта работ нижней части вскрываемой зоны в границах работы ЭАК по формуле:

$$L_{\text{ва}j} = L_{\text{yj}} + 0,38(n_{\text{ван}j} + n_{\text{ван}(j-1)})h_{\text{ван}} \text{ctg} \alpha_{\epsilon} + 0,38(N_{\text{нб}j} + N_{\text{нб}(j-1)})B_{\text{нб}j} + 0,38(n_{\text{ва}yj} + n_{\text{ва}y(j-1)})T_{\text{тба}} . \quad (2.49)$$

На каждом j -ом этапе отработки определяются объемы нижней части вскрываемой зоны в границах работы ЭАК (м^3) по формуле:

$$V_{\text{ва}j} = S_{\text{ва}j} L_{\text{ва}j} . \quad (2.50)$$

На каждом j -ом этапе отработки определяется длина фронта работ верхней части вскрываемой зоны в границах эксплуатации ЭЖК.

На каждом j -ом этапе отработки определяются площади верхней части вскрываемой зоны в границах эксплуатации ЭАЖ, отдельно при $j=1$ с учетом фактического положения рабочего борта и для последующих при $j \geq 2$ по формулам:

$$S_{\text{вж}(j=1)} = [(H_{\text{ва}(j=1)} - H_{\text{ва}(j=0)})(\text{ctg} \beta_{\kappa(j=1)} + \text{ctg} \gamma_{\text{ва}(j=1)}) + B_{\text{нв}(j=1)} + H_{\text{ва}(j=0)} \text{ctg} \gamma_{\text{ва}(j=1)} + B_{\text{рж}(j=1)} - H_{\text{ва}(j=0)} \text{ctg} \gamma_{\text{ва}(j=0)} - B_{\text{рж}(j=0)}]n_{\text{вж}} h_{\text{вж}} ; \quad (2.51)$$

$$S_{вжж} = [(H_{ваj} - H_{ва(j-1)})(ctg \beta_{кj} + ctg \gamma_{ваj}) + B_{нвж} + H_{ва(j-1)} ctg \gamma_{ваj} + B_{ржж} - H_{ва(j-1)} ctg \gamma_{ва(j-1)} - B_{ржж(j-1)}] n_{вжж} h_{вжж} \quad (2.52)$$

На каждом j -ом этапе отработки определяются объемы нижней части вскрышной зоны в границах работы ЭАК (m^3) по формуле:

$$V_{вжж} = S_{вжж} L_{вжж} \quad (2.53)$$

На каждом j -ом этапе отработки определяется объем внешней вскрыши (m^3) по формуле:

$$V_{ej} = V_{ваj} + V_{вжж} \quad (2.54)$$

На каждом j -ом этапе отработки определяется поэтапный коэффициент вскрыши (m^3/t) по формуле:

$$k_{ej} = V_{ej} / Z_j \quad (2.55)$$

Зная ориентировочно сроки отработки запасов каждого j -го этапа отработки по периодичности понижения горных работ и спрос на товарную продукцию предприятия в исследуемый период времени $T_{эк}$, задаются годовой производительностью карьера по руде в пределах каждого этапа отработки $A_{киj}$.

Определяется время отработки запасов руды на j -ом этапе отработки (лет) по формуле:

$$t_{yj} = Z_j / A_{киj} \quad (2.58)$$

Определяется расчетная требуемая годовая производительность по вскрыше в пределах каждого j -го этапа отработки (m^3) по формуле:

$$V_{emij} = V_{ej} / t_{yj} \quad (2.59)$$

Выполняется первая корректировка требуемой годовой производительности по вскрыше V_{emij} в пределах каждого j -го этапа отработки. Пределы превышения V_{emij} в каждом последующем этапе отработки устанавливаются по данным практики проектирования.

В нашем случае если на каком-то этапе отработки

$$V_{\text{emij}} < V_{\text{emi}(j-1)} \text{ или } V_{\text{emij}} - V_{\text{emi}(j-1)} \geq 15 \times 10^6$$

то

$$V'_{\text{emi}(j-1)} = V'_{\text{emi}(j-1)} = 0,5(V_{\text{emi}(j-1)} + V_{\text{emij}}), \text{ м}^3. \quad (2.60)$$

Если же одновременно проявляются два этих фактора

$$\begin{cases} V_{\text{emj}} < V_{\text{emi}(j-1)} \\ V_{\text{emij}} - V_{\text{emi}(j-1)} \geq 15 \times 10^6, \end{cases}$$

то

$$V'_{\text{emij}} = \frac{\sum_{j=(j-1)}^{j_{\text{max}}} V_{\text{emij}}}{J_{\text{max}}!}, \text{ м}^3. \quad (2.61)$$

Выполняется вторая корректировка требуемой годовой производительности по вскрыше V'_{emij} в пределах каждого j -го этапа отработки. Пределы превышения V'_{emij} в каждом последующем этапе отработки также устанавливаются по данным практики проектирования.

Если на каком-то этапе отработки

$$V'_{\text{emij}} - V'_{\text{emi}(j-1)} \geq 10 \times 10^6,$$

то

$$V''_{\text{emij}} = V''_{\text{emi}(j-1)} = 0,5(V'_{\text{emi}(j-1)} + V'_{\text{emij}}). \quad (2.62)$$

Определяется текущий коэффициент вскрыши в пределах этапа отработки ($\text{м}^3/\text{т}$) по формуле:

$$k_{\text{eij}} = V''_{\text{emij}} / A_{\text{кij}}. \quad (2.63)$$

После второй корректировки требуемой годовой производительности по вскрыше в пределах каждого j -го этапа отработки (V''_{emij}) составляется календарный график горных работ карьера. Первоначально суммируют время отработки запасов руды всех k_j этапов отработки:

$$T_{\text{эк}} = \sum_{j=1}^{k_j} t_{\text{yj}}. \quad (2.64)$$

Затем для $T_{\text{эк}} := [T_{\text{эк}}]$ в таблице 2.1 структуры заполнения проектного календарного графика горных работ в первую строку записывают календарные годы с начала реализации проекта до его завершения от $i = 1$ до $i = [T_{\text{эк}}]$. Далее во вторую строку таблицы 2.1 в столбцах каждого календарного года записывают годовую производительность карьера по руде (A_{ki}) последовательно от $i = 1$ до $i = [T_{\text{эк}}]$, производя выборку на каждом этапе отработки от $j = 1$ до $j = k_j$.

Для целых чисел $t_{yj} = [t_{yj}]$ годовая производительность карьера по руде в пределах работы карьера на j -ом этапе отработки остается без изменения:

$$A_{ki} = A_{kij}. \quad (2.65)$$

Таблица 2.1 – Схема заполнения проектного календарного графика горных работ

Показатели	Календарные годы для периода $T_{\text{эк}} := [T_{\text{эк}}]$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	и т.д.
A_{ki} , МЛН. Т	A_{k1}	A_{k2}	A_{k3}	A_{k4}	A_{k5}	A_{k6}	A_{k7}	A_{k8}	A_{k9}	и т.д.
$V_{\text{вми}}^{\prime\prime}$, МЛН. М ³	$V_{\text{вм1}}^{\prime\prime}$	$V_{\text{вм2}}^{\prime\prime}$	$V_{\text{вм3}}^{\prime\prime}$	$V_{\text{вм4}}^{\prime\prime}$	$V_{\text{вм5}}^{\prime\prime}$	$V_{\text{вм6}}^{\prime\prime}$	$V_{\text{вм7}}^{\prime\prime}$	$V_{\text{вм8}}^{\prime\prime}$	$V_{\text{вм9}}^{\prime\prime}$	и т.д.
$V_{\text{вми}}$, МЛН. М ³	$V_{\text{вм1}}$	$V_{\text{вм2}}$	$V_{\text{вм3}}$	$V_{\text{вм4}}$	$V_{\text{вм5}}$	$V_{\text{вм6}}$	$V_{\text{вм7}}$	$V_{\text{вм8}}$	$V_{\text{вм9}}$	и т.д.
$k_{\text{вми}}$, М ³ /Т	$k_{\text{вм1}}$	$k_{\text{вм2}}$	$k_{\text{вм3}}$	$k_{\text{вм4}}$	$k_{\text{вм5}}$	$k_{\text{вм6}}$	$k_{\text{вм7}}$	$k_{\text{вм8}}$	$k_{\text{вм9}}$	и т.д.

При переходе с одного этапа отработки на другой с учетом дробной части числа $\{t_{yj}\} = t_{yj} - [t_{yj}]$ она составит:

$$A_{ki} = A_{kij} \{t_{yj}\} + A_{ki(j+1)} (1 - \{t_{yj}\}). \quad (2.66)$$

После этого в третью строку таблицы 2.1 в столбцах каждого календарного года записывают значения требуемой годовой производительности карьера по вскрыше после второй корректировки последовательно от $i = 1$ до $i = [T_{\text{эк}}]$, производя также выборку на каждом этапе отработки от $j = 1$ до $j = k_j$.

Для целых чисел $t_{yj} = [t_{yj}]$ годовая производительность карьера по вскрыше в пределах работы карьера на j -ом этапе отработки остается также без изменения:

$$V_{emi}'' = V_{emij}'' . \quad (2.67)$$

При переходе с одного этапа отработки на другой также с учетом дробной части числа $\{t_{yj}\} = t_{yj} - [t_{yj}]$ она составит:

$$V_{emi}'' = V_{emij}'' \{t_{yj}\} + V_{emi(j+1)}'' (1 - \{t_{yj}\}) . \quad (2.68)$$

Затем в четвертую строку таблицы 1.1 в столбцах каждого календарного года окончательно записывают значения принятой годовой производительности карьера по вскрыше:

$$V_{emi} = V_{emi}'' \quad (2.69)$$

при выполнении условия

$$V_{emi}'' - V_{em(i-1)}'' \leq 4,0 \times 10^6 .$$

Если это условие не выполняется, то превышение этой разницы ($V_{emi}'' - V_{em(i-1)}'' - 4 \times 10^6$) равномерно распределяется на все предшествующие календарные годы:

$$V_{emi} = V_{emi}'' + \frac{V_{emi}'' - V_{em(i-1)}'' - 4 \times 10^6}{(I_{\max} - 1)!} . \quad (2.70)$$

Эта операция будет продолжаться до тех пор, пока не будет выполняться условия (2.37) и (2.38) математической модели.

Расчеты для исследуемой ширины поперечной панели $B_{\sigma} = B_{\sigma} + \Delta B_{\sigma}$ завершаются определением значений текущего коэффициента вскрыши в каждый календарный год ($\text{м}^3/\text{т}$):

$$k_{ei} = V_{emi} / A_{ki} , \quad (2.71)$$

величины которых заносятся в пятую строку таблицы 2.1.

Путем сопоставления проектных календарных графиков горных работ на период реконструкции горнотранспортной системы карьера по использовавшейся и предлагаемой технологиям использования ЭАК дается

экспертная оценка целесообразности внесения изменений в проектную схему горных работ.

2.5 Выводы по главе

Для карьеров овальной формы создана 3D модель поэтапного развития его контуров. Объемный контур полезного ископаемого интерполировался эллиптическим гиперболоидом овальной формы. Предполагается, что такой способ интерполирования удовлетворяет практике открытой разработки крутопадающих месторождений овальной формы при развитии рабочей зоны вдоль крутых бортов без временно нерабочих бортов с достаточной точностью. Понятно, что функциональный вид интерполирования и обоснование ее достоверности является самостоятельной задачей. При этом надо пользоваться фактическими данными исследуемой цифровой модели месторождения. Построенная в работе задача оптимального управления в конце упирается к решению кубического уравнения нелинейной алгебры. В работе доказывается, что кубическое уравнение имеет единственное решение. Данный факт косвенным образом доказывает правильность выбранного способа решения изучаемой задачи. Разработанный в работе алгоритм решения кубического уравнения очень прост; его можно реализовать, используя любой язык программирования, в частности C++ или Java. Используя корни кубических уравнений, определяются оптимальные значения коэффициента вскрыши, углы наклона бортов карьера и объемы вскрыши в зависимости от этапа отработки.

3 АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ РАСКОНСЕРВАЦИИ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧЕГО БОРТА НИЖЕ ГРАНИЦЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА КАЧАРСКОМ КАРЬЕРЕ

3.1 Предпосылки расконсервации временно нерабочего борта Северного участка поперечными панелями

Задача расконсервации временно нерабочего борта в коренных породах Северного участка Качарского карьера широкими панелями состоит в установлении технической возможности и экономической целесообразности перехода на развитие рабочей зоны вдоль крутого борта при ориентации фронта работ их уступов перпендикулярно друг другу.

Независимое развитие рабочей зоны относительно крутых бортов сверху вниз с минимально достаточными размерами при использовании мощных экскаваторно-автомобильных комплексов обеспечит концентрацию горных работ на постоянной основе при минимальных требуемых объемах выемки вскрышных пород без формирования временно нерабочих бортов и ежемесячного регулирования вскрываемых запасов руды непосредственно в карьере.

Решение данной задачи в условиях Качарского карьера выполнялось при непосредственном составлении плана развития горных работ на 2019 год в тесном контакте со специалистами технической службы предприятия. Один из первых вариантов перехода на отработку уступов широкими панелями показал, что значительное отставание вскрышных работ не позволит охватить в рабочую зону всю площадь рабочего борта в коренных породах и ограничит ширину панели.

Изготовление последнего варианта рабочих чертежей по расконсервации ВНБ выполнено по данным последней съемки на конец октября 2018 года. Значительное время ушло на преобразование в трехмерную проекцию фактического состояния горных работ для последующего использования по утвержденному календарному плану. Потребовалось «посадить» на координаты и на высотную отметку каждую полилинию (верхние и нижние бровки), а также каждую точку 3D-полилинии (контуры съездов и самого карьера) стринг-файла в формате dwg (Autocad).

На рисунке 3.1 приведено положение горных работ на Качарском карьере к концу октября 2018 года, на рисунках 3.2-3.4 - положение горных работ на Северном участке Качарского карьера соответственно к концу 2, 3 и 4 кварталов 2019 года. Положение горных работ к концу 1 квартала 2019 года остается без изменения в соответствии с планом развития АО «ССГПО».

Во втором квартале горные работы по рыхлым породам будут вестись на гор.+183,+170,+142,+127,+114, +72,+45,+15 по северному борту. По скальным на гор.,-15,-30,-45 по северном борту, и на +30,-15,-105 по южному борту. Руда добывается на гор. -30,-45,-105 и на -270.

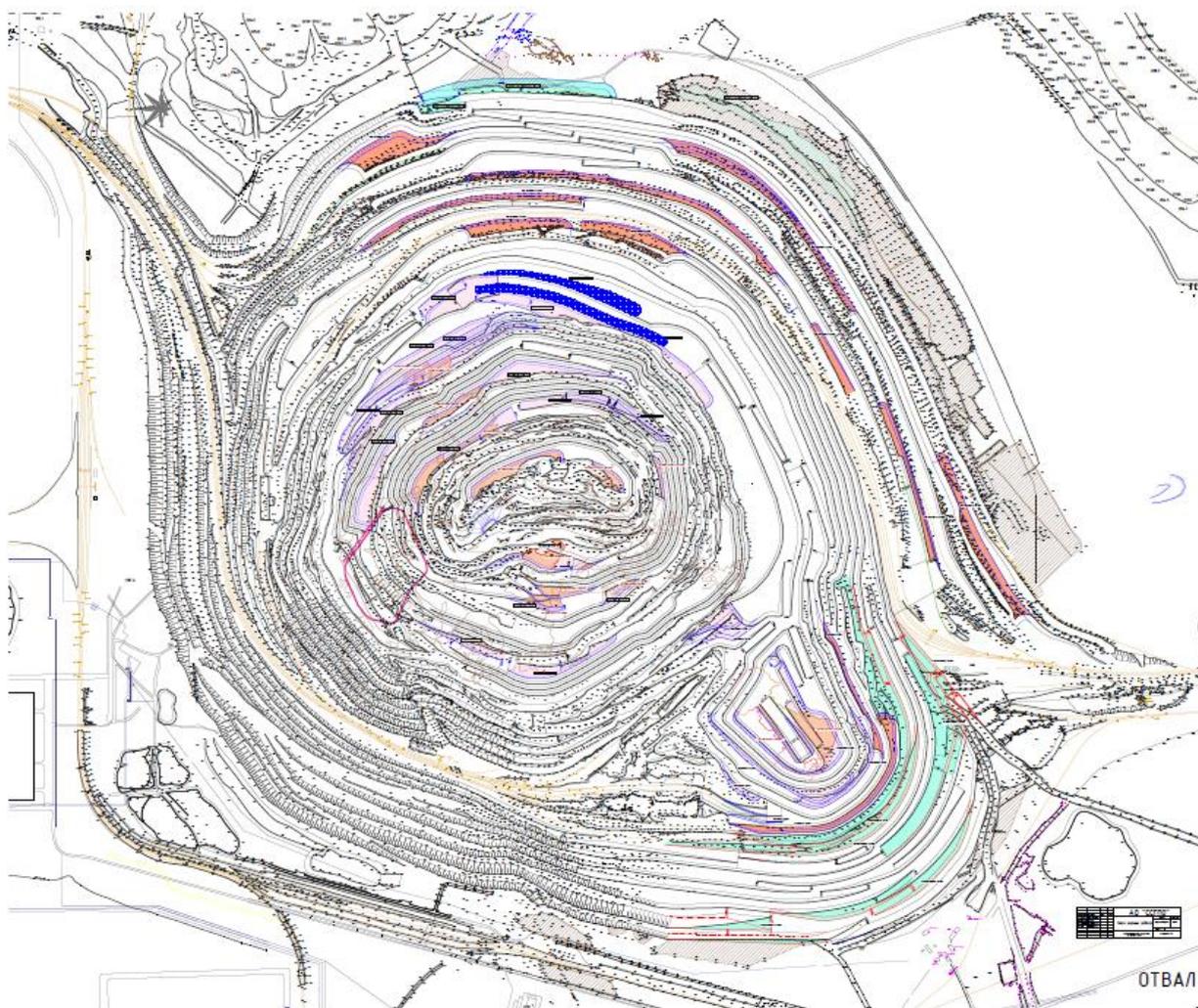


Рисунок 3.1 – Положение горных работ на Качарском карьере к концу октября 2018 года

В третьем квартале горные работы по рыхлым породам будут вестись на гор.170,+157,+142,+127 по северному борту. По скальным на гор.0,-15,-30,-45,-60,-75 по северном борту, и на +15,0,-15,-30,-120 по южному борту. Руда добывается на гор. -60,-75,-120 и на -285.

В четвертом квартале горные работы по рыхлым породам будут вестись на гор.+114,+99,+87,+76 по северному борту. По скальным на гор.0,-15,-30,-45,-60,-75,-90 по северном борту, и на гор. 30,-135,-180 по южному борту. Руда добывается на гор. -90,-135,-180 и на -285.

В таблицах 3.1-3.3 приведено распределение объемов горных работ между горизонтами отработки на Северном участке Качарского карьера соответственно во 2, 3 и 4 кварталах 2019 года.

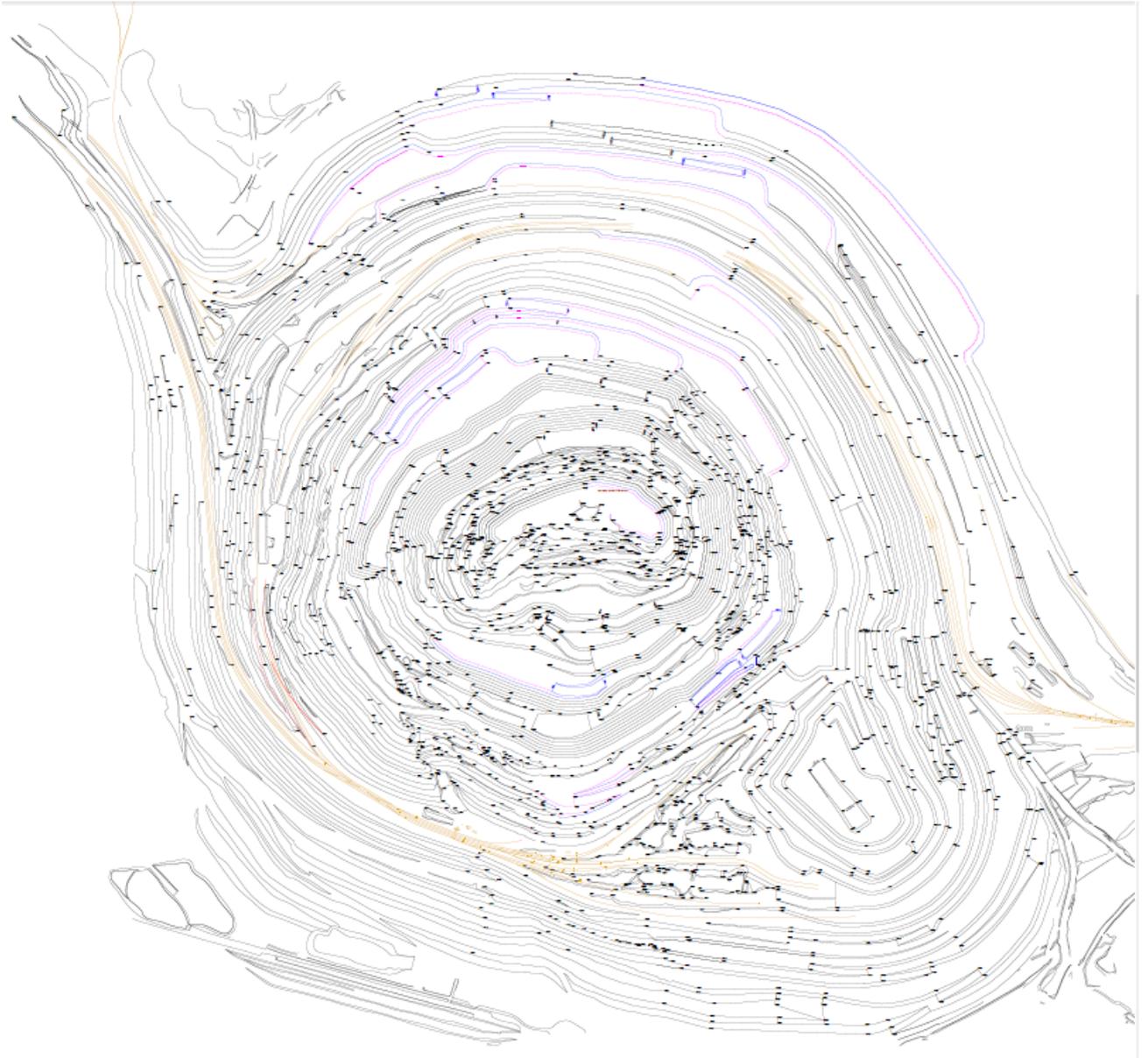


Рисунок 3.2 – Положение горных работ на Северном участке к концу 2 квартала 2019 года

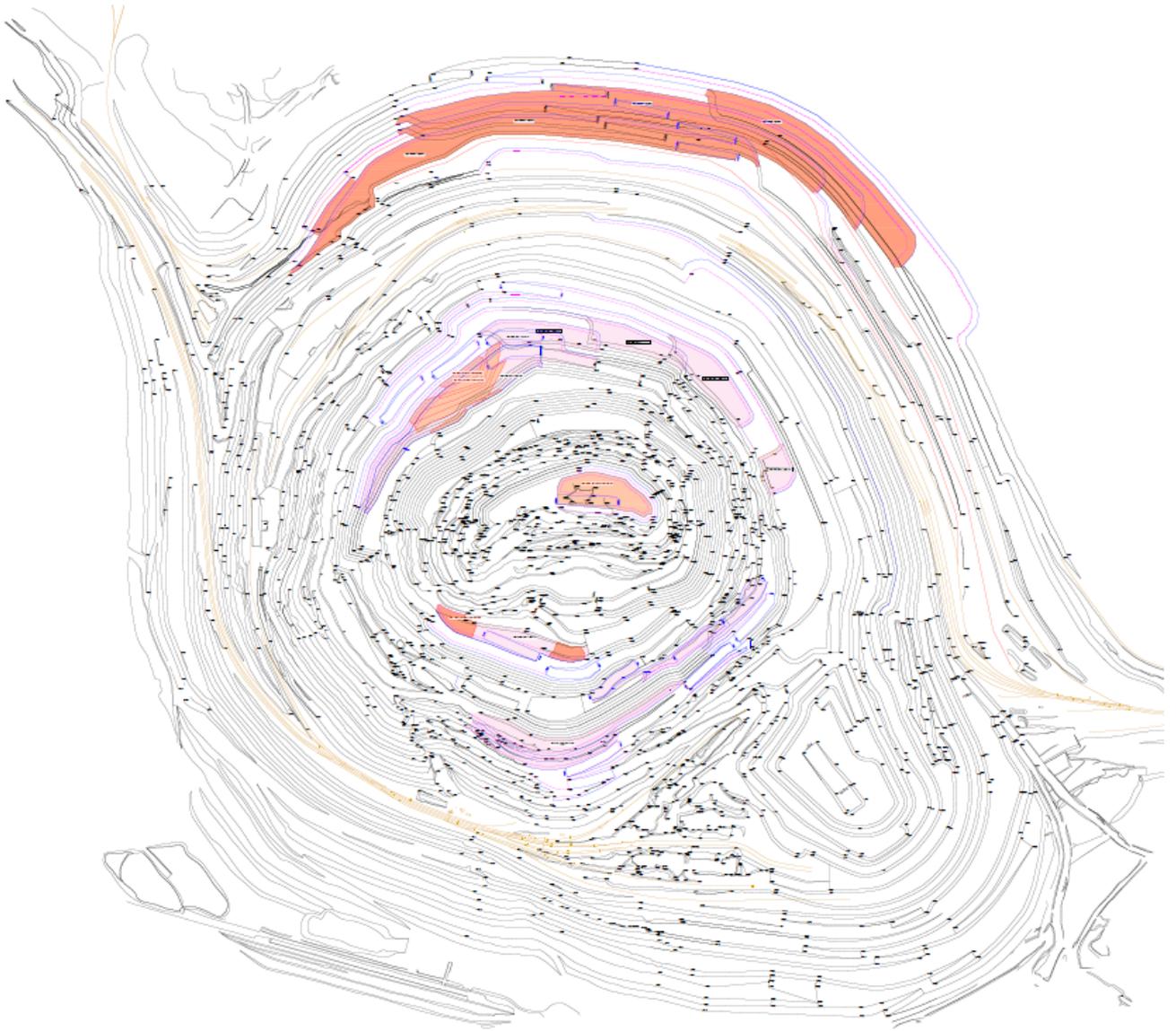


Рисунок 3.3 – Положение горных работ на Северном участке к концу 3 квартала 2019 года

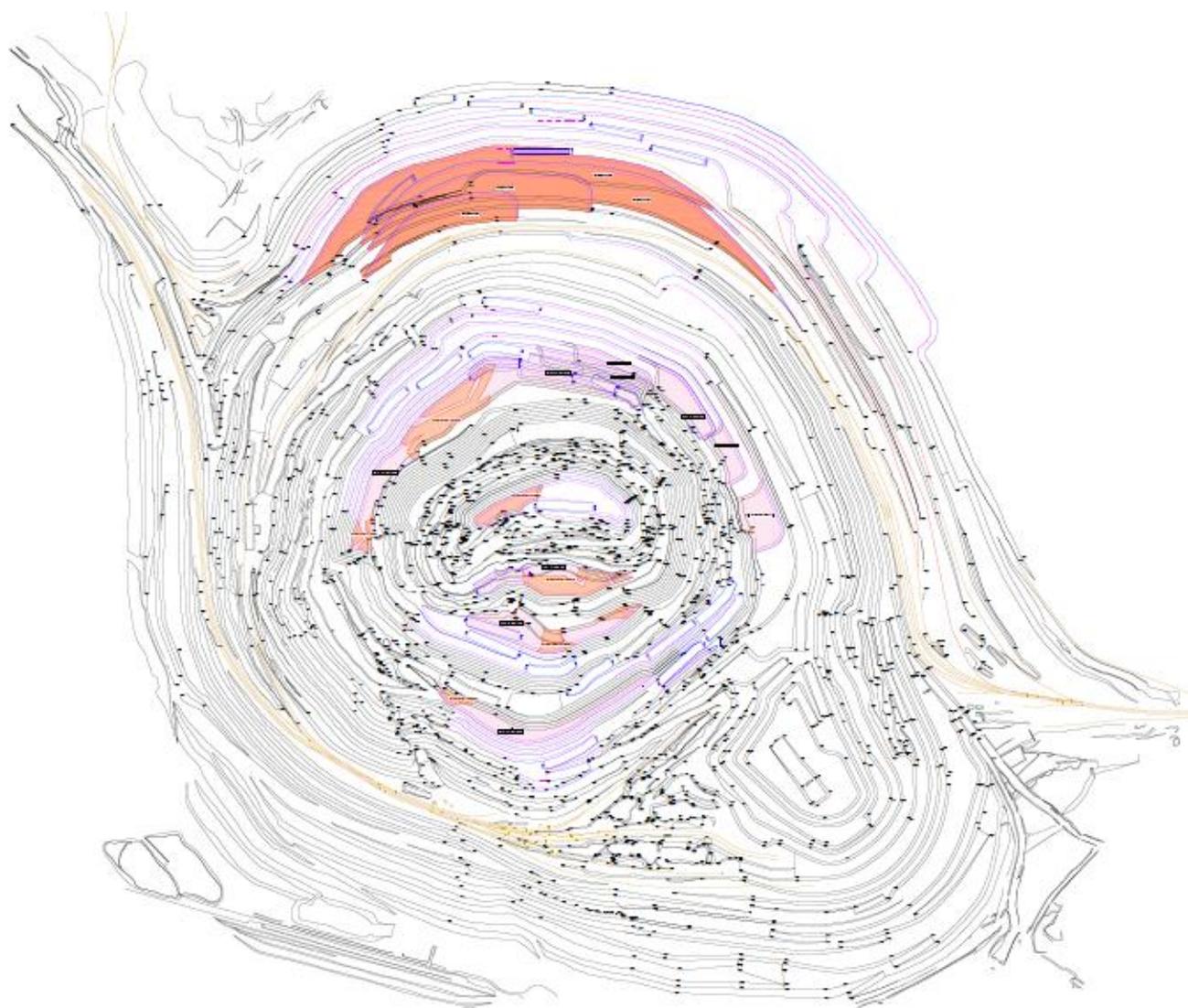


Рисунок 3.4 – Положение горных работ на Северном участке к концу 2019 года

Таблица 3.1 – Распределение объемов горных работ между горизонтами отработки на Северном участке во 2-ом квартале 2019 года

гор.	порода рыхлая		порода скальная		руда		
	м ³	т	м ³	т	м ³	т	% Fe
1	2	3	4	5	6	7	8
183	617	1154					
170	860	1608					
157							
142	851	1591					
127	757	1416					
114	319	597					
99							

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
87							
72	264	494					
60							
45	450	842					
30			71	185			
15	90	168					
0			1235	3211			
-15			1151	2993	97	301	30,68
-30			571	1485	209	668	34,03
-45			280	728	299	917	29,11
-60							
-75							
-90							
-105			123	320	237	756	33,48
-270					119	394	37,97
Итого	4208	7869	3431	8921	961	3036	32,59

Таблица 3.2 - Распределение объемов горных работ между горизонтами отработки на Северном участке в 3-ем квартале 2019 года

гор.	порода рыхлая		порода скальная		руда		
	м ³	т	м ³	т	м ³	т	% Fe
183							
170	758	1418					
157	1493	2792					
142	1383	2586					
127	1527	2856					
15			146	380			
0			309	803			
-15			692	1799			
-30			287	746			
-45			361	939			
-60			686	1784	239	743	30,86
-75			435	1131	235	749	33,51
-90							
-105							
-120			164	426	109	355	35,77
-285					354	1142	35,1
Итого	5161	9651	3080	8008	937	2989	33,73

Таблица 3.3 - Распределение объемов горных работ между горизонтами отработки на Северном участке в 4-ом квартале 2019 года

гор.	порода рыхлая		порода скальная		руда		
	м ³	т	м ³	т	м ³	т	% Fe
183							
170							
157							
142							
127							
114	1508	2820					
99	2025	3787					
87	842	1575					
76	480	898					
0			309	803			
-15			149	387			
-30			616	1602	28	79	20,05
-45			157	408			
-60			204	530			
-75			329	855			
-90			646	1680	485	1534	32,6442
-105							
-120							
-135			339	881	119	386	35,85
-180			212	551	245	799	35,1
-285					135	495	48,52
Итого	4855	9079	2961	7699	1012	3293	35,70

В таблице 3.4 приведены скорректированные плановые показатели горных работ на Северном участке Качарского карьера на 2019 год.

Таблица 3.4 – Скорректированные плановые показатели горных работ на Северном участке Качарского карьера на 2019 год

Периоды времени и показатели	Порода рыхлая		Порода скальная		Вскрыши всего		Руда			Коэффициент вскрыши	
	м ³	т	м ³	т	м ³	т	м ³	т	% Fe	м ³ /т	т/т
1-ый квартал	3989	7461	2816	7323	6805	14784	770	2432	34,13	2,80	6,08
2-ой квартал	4208	7869	3431	8921	7639	16790	961	3036	32,59	2,52	5,53
3-ий квартал	5161	9651	3080	8008	8241	17659	937	2989	33,73	2,76	5,91
4-ый квартал	4855	9079	2961	7699	7816	16778	1012	3293	35,70	2,37	5,01
Итого	18213	34060	12288	31951	30501	66011		11750	34,07	2,60	5,62

На риснке 3.5 приведен один из вариантов отработки рыхлых пород широкими панелями с использованием драглайнов на железнодорожный транспорт, который позволит сократить сроки переноса перегрузочного пункта с автосамосвалов на железнодорожный транспорт.

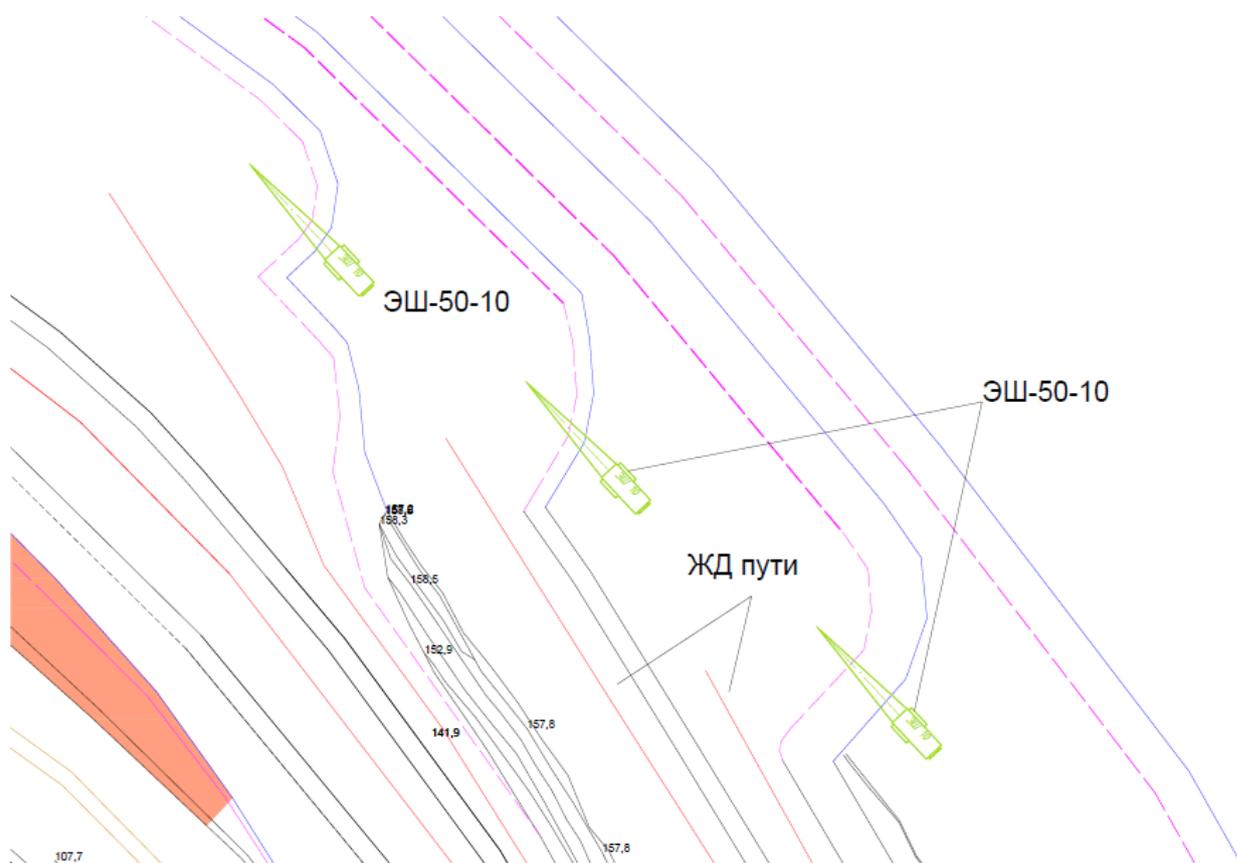


Рисунок 3.5 – Один из вариантов отработки рыхлых пород широкими панелями с использованием драглайнов на железнодорожный транспорт

На риснках 3.6-3.8 приведены схемы развития горнотранспортных работ в границах Северного участка Качарского карьера соответственно во 2, 3 и 4 кварталах 2019 года, наглядно демонстрирующие положение вскрывающих выработок в динамике развития горных работ.

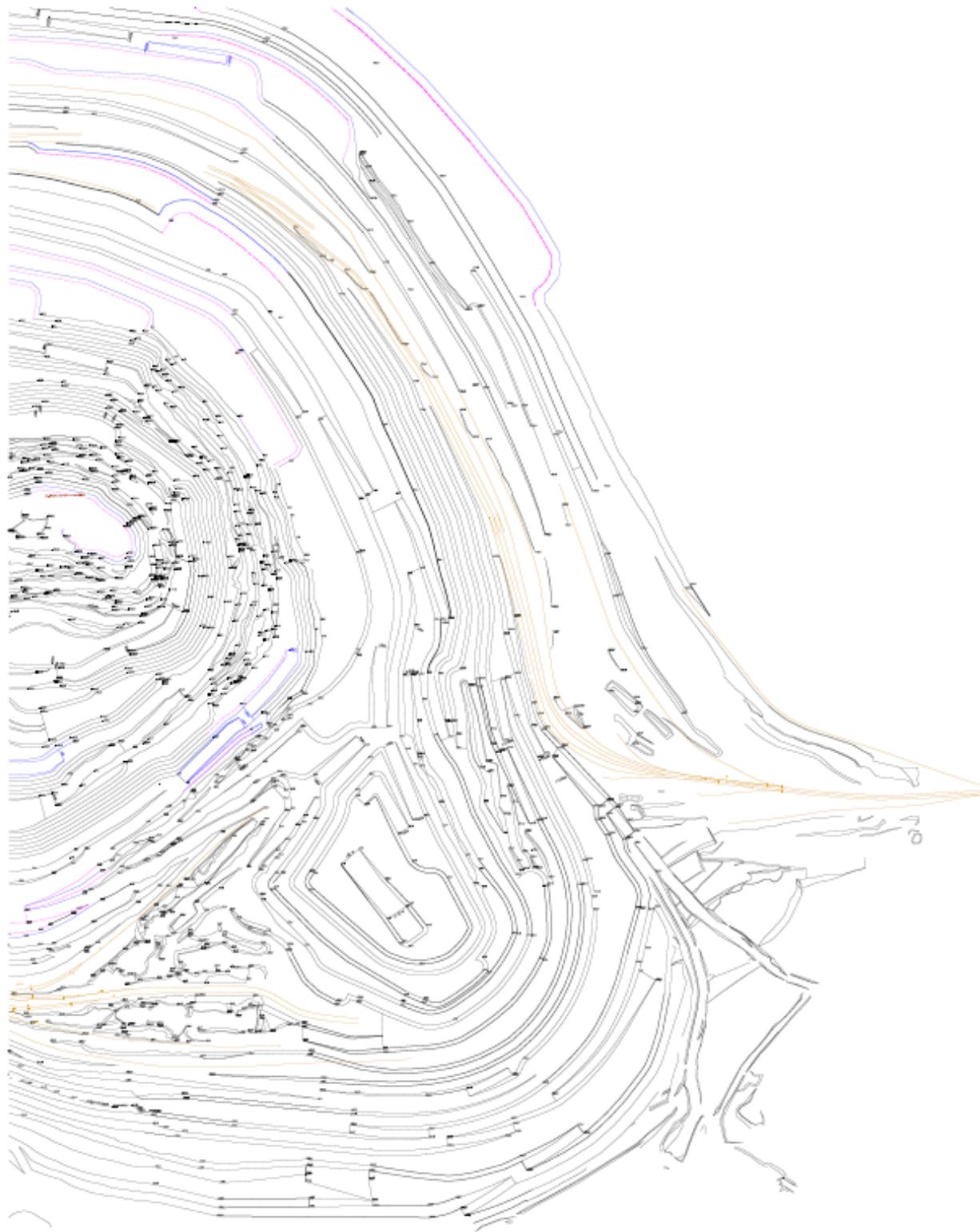


Рисунок 3.6 - Схема развития горнотранспортных работ в границах Северного участка Качарского карьера во 2-ом квартале 2019 года

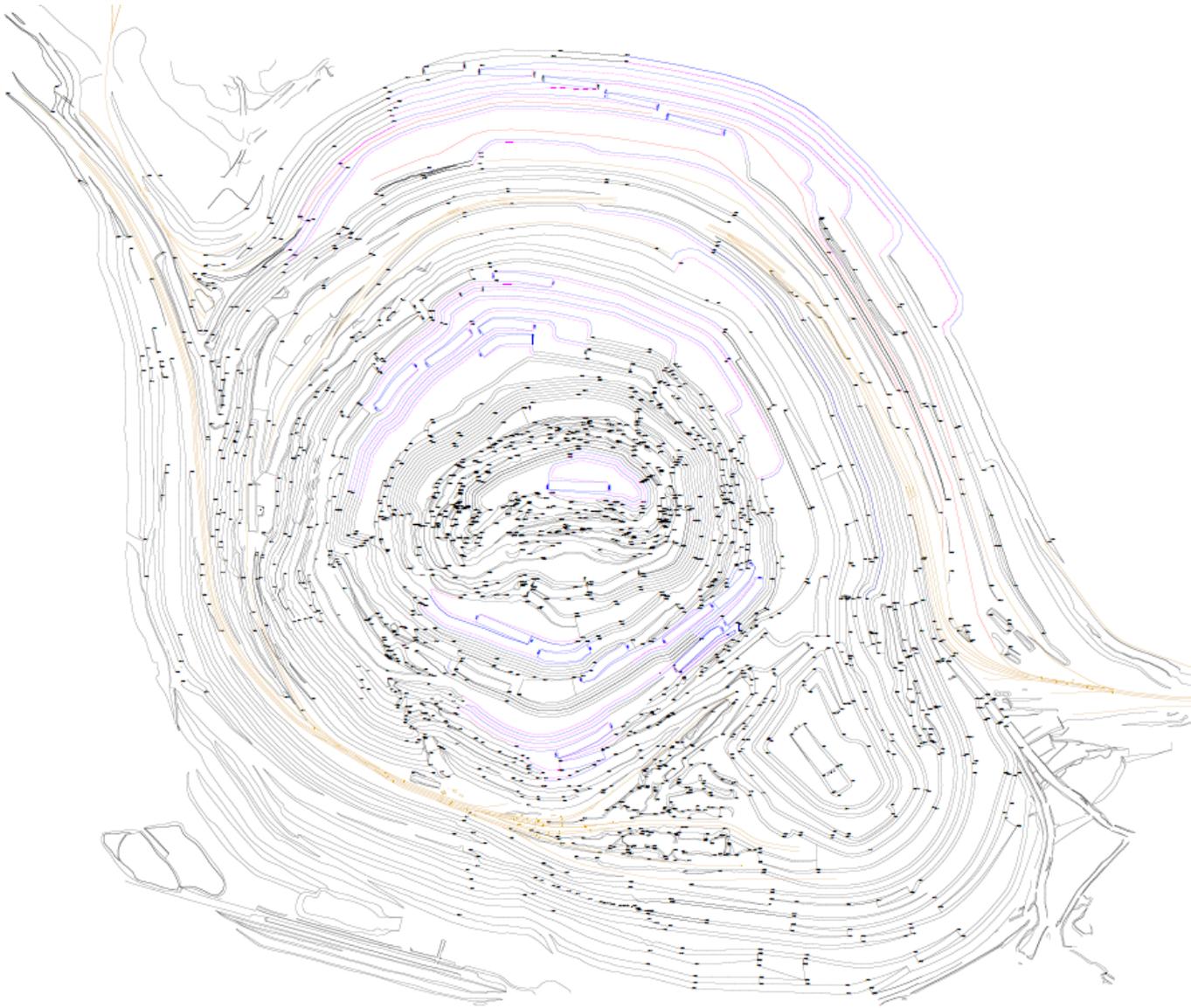


Рисунок 3.7 - Схема развития горнотранспортных работ в границах Северного участка Качарского карьера в 3-ем квартале 2019 года

Анализ рисунков 3.6-3.8 показывает, что к концу 2019 года можно обеспечить сквозной транспортный доступ с западного борта на гор.-90 с возможностью транспортировать руду и породы скальной вскрыши как с северного, так и с южного бортов Северного участка Качарского карьера. Так же через три уступа будет обеспечена аналогичная транспортная связь через восточный борт на гор.-30.

Таким образом, для расконсервации временно нерабочего борта с последующим переходом на высокоритмичное интенсивное производство горных работ на Северном участке Качарского карьера при выемке пород скальной вскрыши и добычи руды широкими панелями на крутых бортах созданы поэтапные планы развития горных с учетом утвержденных плановых показателей по добыче руды и вскрышных работ на 2019 год. Также рыхлые породы верхних горизонтов будут обрабатываться по старой

схеме с продольными заходками без применения широких панелей, поскольку данная схема потребует большой объем работ по переукладке железнодорожных путей. Тем не менее для взаимоувязки и ритмичного ведения горных работ на рыхлых и скальных горизонтах предлагается сконцентрировать вскрышные работы по рыхлым породам на северном борту (рисунок 3.5).

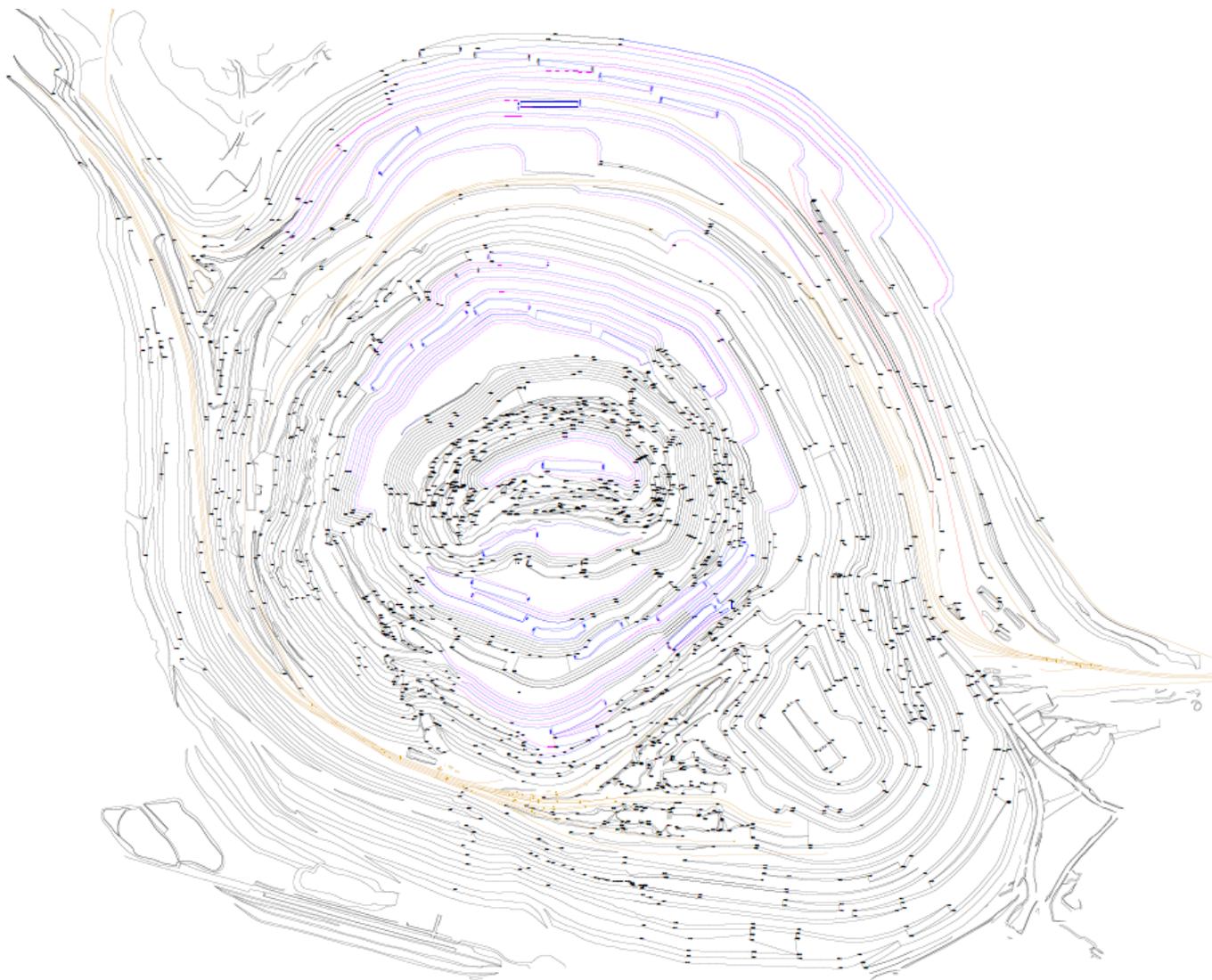


Рисунок 3.8 - Схема развития горнотранспортных работ в границах Северного участка Качарского карьера в 4-ом квартале 2019 года

Результаты первого года расконсервации временно нерабочего борта широкими панелями (75-80 м) по движению запасов руды приведены в таблице 3.5. Подсчет подготовленных и готовых в выемке запасов выполнен для традиционной схемы отработки уступов продольными панелями. При переходе на отработку пород скальной толщи и руды крутонаклонными слоями с широкими панелями и обеспечения высокоритмичного интенсивного производства горных работ после 2020 года необходимость в их ежемесячном учете не потребуется.

Таблица 3.5 – Переходящие запасы руды на Северном участке Качарского карьера на 2020 год

гор.	объемы готовых к выемке запасов			объемы подготовленных запасов		
	м ³	т	% Fe	м ³	т	% Fe
15	669063	1964437	23,82	331375	976201	24,23
30	301250	1001494	38,32	34750	115625	38,42
45	156375	574629	48,78	27938	105827	51,74
Итого	1126688	3540560	31,97	394063	1197653	28,03

Анализ таблицы 3.5 показывает, что переход на отработку уступов в коренных породах широкими панелями в условиях Северного участка Качарского карьера позволит стабилизировать добычу руды при минимально достаточных объемах вскрышных работ.

На рисунке 3.9 приведено положение горных работ и вскрывающих выработок до дна Северного участка Качарского карьера к концу 2020 года.

Выполненный подсчет объемов горных работ ниже границы применения железнодорожного транспорта до дна карьера на Северном участке показывает, что в 2020 году они составят: горной массы – 16 868 446 м³, по породам скальной вскрыши – 10 954 508 м³ и руды - 5 913 938 м³ или 18 929 124 т с содержанием железа 34,09 %.

Сопоставление с 2019 годом показывает, что в 2020 году можно увеличить объемы добычи руды на Северном участке Качарского карьера практически того же качества в 1,6 раза при снижении объема выемки пород скальной вскрыши на 10,8% в обрабатываемом крутонаклонном слое.

3.2 Прогнозирование производительности экскаваторно-автомобильных комплексов при отработке уступов поперечными панелями в крутонаклонных слоях

Производительность комплекса является, по сути производительностью входящего в него экскаватора или суммой производительностей автосамосвалов в комплексе. Поэтому расчет производительности экскаваторно-автомобильных комплексов сводится к расчету производительности составляющих комплекс экскаватора и автосамосвалов с учетом их технологической и организационной взаимосвязи.

От точности расчета производительности комплекса зависит надежность планирования горных работ и эффективность использования технических и трудовых ресурсов. В настоящее время в качестве основы для оперативного планирования погрузочно-транспортных работ и для оплаты и стимулирования труда используются единые нормы выработки на открытые горные работы.

Однако они не достаточно точны:

- практически не учитывают взаимодействие погрузочную и транспортного звена;
- не учитывают особенности внутри сменной организации работы комплекса в целом;
- весьма приблизительно учитывают отклонение фактических условий работы от нормативных.

При расчете производительности экскаваторов не учитываются их простои в начале смены из-за ожидания прибытия автосамосвалов и в конце смены из-за выхода автосамосвалов из рабочей зоны для пересменки водителей. Не учитывается дальность перемещения горной массы и количество автосамосвалов, работающих с экскаватором, - факторы, определяющие простои в ожидании прибытия очередного автосамосвала.

При расчете производительности автосамосвалов также не достаточно точно оценивается время их работы в течение смены, не учитывается количество машин, работающих в комплексе с экскаватором, возможные простои в ожидании очереди на разгрузку, транспортно-эксплуатационное качество автодорог, высота подъема горной массы. Применяемый в единых нормах выработки показатель «приведенное расстояние» достаточно укрупненно учитывает свойства авто-транспортных коммуникаций карьеров и потому не точно оценивает их [78-79].

Существенным отличием условий горных работ является уникальность каждой карьера и каждого забоя в нем. Следовательно, не может быть единых норм выработки на открытые работы. А действующие нормы могут быть использованы только для укрупненных расчетов на стадии обоснования инвестиций.

Едиными должны быть методическая база и методика расчета производительности горно-транспортного оборудования карьеров. А нормативные параметры процессов следует определять для условий конкретного карьера на основе опытно-экспериментальных исследований для текущего и перспективного планирования горных работ. Оперативное планирование следует производить на основе периодического уточнения нормативных параметров с помощью хронометражных наблюдений и анализа фактического уровня организации горно-транспортных работ и технического состояния парка машин.

Для расчета производительности экскаваторно-автомобильного комплекса в последнее время предпочтительно использовать следующую методику [3].

1. *Сменная производительность экскаваторно-автомобильного комплекса* (экскаватора, работающего в комплексе) определяется так:

$$P_k = \frac{T_{см} - \Delta T_{пр} - \Delta T_{вых} - \Delta T_{прэ}}{t_{обсл}} E_{ф} K_{об}, \quad (3.1)$$

где P_k – сменная производительность экскаваторно-автомобильного комплекса, м³/смену или т/смену; $T_{см}$ – продолжительность рабочей смены экскаватора, ч; $\Delta T_{пр}$ – интервал между началом смены и прибытием первого автосамосвала (3.2), ч; $\Delta T_{вых}$ – интервал между окончанием погрузки последнего автосамосвала и окончанием смены (3.4), ч; $\Delta T_{прэ}$ – технологически и организационно необходимые простои экскаватора, включая пересменку автосамосвалов при несовпадении суточных режимов работы погрузочного и транспортного звеньев (как для экскаваторов, так и для автосамосвалов), ч. Они зависят от организационно-технологических условий на конкретном предприятии и устанавливаются при существующей организации работы экскаваторно-автомобильных комплексов на основе хронометражных наблюдений работы в карьере и технического обслуживания экскаваторов и автосамосвалов; $t_{обсл}$ – время, затрачиваемое на обслуживание одного автосамосвала (3.7), ч; $E_{ф}$ – фактическая вместимость в м³ или грузоподъемность $Q_{ф}$ в тоннах автосамосвалов, работающих в комплексе; $K_{об}$ – коэффициент обеспеченности комплекса (экскаватора) автосамосвалами (3.5) [3].

Интервал между началом смены и прибытием первого автосамосвала определяется [3]:

$$t_{n.з.а} + t_{д.н.} = \Delta T_{пр} \geq t_{n.з.э}, \quad (3.2)$$

где $t_{n.з.а}$ – продолжительность подготовительно-заключительных операций перед выходом автосамосвала на смену, ч; $t_{д.н.}$ – время движения автосамосвала от гаража (места стоянки) до экскаватора (пункта погрузки), ч;

$$t_{д.п.} = \frac{L_{кол}}{V_r}, \quad (3.3)$$

где $L_{кол}$ – расстояние от места стоянки до экскаватора, км; V_r – скорость движения порожнего автосамосвала от места стоянки до экскаватора, км/ч; $t_{n.з.э}$ – продолжительность подготовительно-заключительных операций в начале рабочей смены экскаватора, ч.

Если условие (3.2) не выполняется, то $\Delta T_{пр} = t_{n.з.э}$.

Интервал между окончанием погрузки последнего автосамосвала и окончанием рабочей смены экскаватора [3]:

$$\Delta T_{вых} = t_{дв.г} + t_p + t_{д.н.}, \quad (3.4)$$

где $t_{дв.г}$ – время движения груженого автосамосвала от экскаватора до пункта разгрузки, ч;

$$t_{дв.г} = \frac{L_r}{V_r}, \quad (3.5)$$

где L_r – расстояние движения от экскаватора до пункта разгрузки, км; V_r – скорость движения груженого автосамосвала от экскаватора до пункта

разгрузки (устанавливается на основе хронометражных наблюдений), км/ч;
 t_p – продолжительность разгрузки автосамосвала, ч; $t_{д.п}$ – время движения порожнего автосамосвала от пункта разгрузки до места стоянки, ч;

$$t_{д.п}'' = \frac{L_{хол}''}{V_x''}, \quad (3.6)$$

где $L_{хол}''$ – расстояние от пункта разгрузки до места стоянки автосамосвала, км; V_x'' – скорость движения порожнего автосамосвала от пункта разгрузки до места стоянки, км/ч.

Время, затрачиваемое на обслуживание одного автосамосвала, определяется [3]:

$$t_{обсл} = t_{ц.э} n_{ц.э} + t_{ож.э} \quad (3.7)$$

где $t_{ц.э}$ – длительность цикла экскавации при погрузке автосамосвала, ч; $n_{ц.э}$ – количество циклов экскавации для погрузки одного автосамосвала; $t_{ож.э}$ – время ожидания экскаватором прибытия очередного автосамосвала, ч (таблица 3.6).

Длительность цикла экскавации при погрузке автосамосвала, либо определяется на основе хронометражных наблюдений, либо для простых (однородных) забоев с нормальными параметрами, может быть определена по формуле Репина Н.Я. [3]:

$$t_{ц.э} = 5,5\sqrt{E_э} + 0,1\beta + K \frac{25}{C}, \quad (3.8)$$

где $C = \frac{1,07^3 \sqrt{E_э}}{d_c}$,

Здесь d_c – средний диаметр куска взорванной горной массы в забое, м; K – коэффициент, учитывающий свойства горных пород; определяется опытным путем (в первом приближении можно принять $K = 1,17-1,20$); β – средневзвешенный угол поворота экскаватора на разгрузку, град.

Таблица 3.6 - Простой экскаватора в ожидании прибытия автосамосвалов, мин/одна погрузка (мин/один автосамосвал)

$L_{тр}$, км	$K_{об}$					
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
0,5	0,08	0,12	0,2	0,36	0,68	1,47
1,0	0,09	0,14	0,23	0,4	0,78	1,69
1,5	0,099	0,15	0,25	0,44	0,85	1,84
2,0	0,1	0,16	0,27	0,47	0,90	1,94
3,0	0,11	0,18	0,29	0,51	0,98	2,12

Примечание: $L_{тр}$ – расстояние транспортирования горной массы из забоя до пункта разгрузки.

Количество циклов экскавации для погрузки одного автосамосвала определится так [2]:

- Определить расчетное количество ковшей экскаватора, необходимых для полной загрузки автосамосвала (n_k):

а) по его грузоподъемности ($Q_э$) - n_k^Q [3]:

$$n_k^Q = \frac{Q_a}{E_э k_э \gamma}, \quad (3.9)$$

где $E_э$ – паспортная геометрическая вместимость ковша экскаватора, м³; $k_э$ – коэффициент экскавации; γ – объемная масса перемещаемой экскаваторно-автомобильным комплексом породы, т/м³.

Коэффициент экскавации может быть определен или задан на основе опытных данных или определен по формуле, предложенной Репиным Н.Я. [3]:

$$k_э = 0,9 - \frac{4}{c^2 - 1}; \quad (3.10)$$

б) по вместимости кузова ($E_э$) - n_k^E :

$$n_k^E = \frac{E_a}{E_э k_э k_{p.a.}}, \quad (3.11)$$

где $k_{p.a.}$ – коэффициент разрыхления горной массы в кузове автосамосвала. Может быть определен или задан на основе опытных данных или определен по формуле, предложенной Репиным Н.Я. [3]:

$$k_{p.a.} = \frac{d_c^2}{0,85 \cdot \sqrt[3]{E_a^2}} e^{1 - \frac{d_c^2}{0,75 \cdot \sqrt[3]{E_a^2}}} + 1,35; \quad (3.12)$$

в) из двух полученных значений количества ковшей, необходимых для полной загрузки автосамосвала, выбрать наименьшее, округлить его с точностью до 0,25 и принять за расчетное значение n_k .

- Округлить расчетное значение количества ковшей (n_k) до ближайшего большего целого, которое принять за расчетное значение количества циклов экскаваций для погрузки одного автосамосвала $n_{ц.э}$.

Фактическая вместимость автосамосвалов, работающих в комплексе, определится [3]:

$$E_\phi = E_э k_э k_{p.a.} n_k. \quad (3.13)$$

Фактическая грузоподъемность автосамосвалов, работающих в комплексе, определится [3]:

$$Q_\phi = E_э k_э n_k \gamma. \quad (3.14)$$

Коэффициент обеспеченности комплекса (экскаватора) автосамосвалами определится [3]:

$$K_{об} = \frac{N_a^p}{N_a^\phi} \quad (3.15)$$

где N_a^p – расчетное количество автосамосвалов, которые может обслужить экскаватор за время одного транспортного цикла (2.19); N_a^ϕ – фактическое количество автосамосвалов, работающих в комплексе с экскаватором.

2. Сменная производительность одного автосамосвала, работающего в составе экскаваторно-автомобильного комплекса, определится следующим образом [3]:

$$P_a = \left(\frac{T_{см} - t_{д.п} - t_{д.п}'' - t_{пз}^a - \Delta T_{пз} - \Delta T_{п}^a - \frac{(N_a^\phi - 1)}{2} (t_{п} + t_{мп}) - 0,5T_p}{T_p} + 1 \right) E_\phi, \quad (3.16)$$

где P_a – сменная производительность автосамосвала в м³/смену или т/смену; $T_{см}$ – продолжительность рабочей смены автосамосвала, ч; $t_{пз}^a$ – продолжительность подготовительно-заключительных операций перед выходом автосамосвала на смену, ч; $\Delta T_{пз}$ – технологически и организационно необходимые простои экскаватора, не зависящие от автосамосвалов, работающих в комплексе (т.е. простои, не связанные с пересменкой автосамосвалов), ч; $\Delta T_{п}^a$ – технологически и организационно необходимые простои автосамосвала, включая пересменку бригад экскаваторщиков при несовпадении суточных режимов работы погрузочного и транспортного звена, ч; T_p – продолжительность рейса автосамосвала (формула (17)), ч; E_ϕ – фактическая вместимость кузова автосамосвала в м³ или его грузоподъемность (Q_ϕ) в тоннах. $\frac{(N_a^\phi - 1)}{2} (t_{п} + t_{мп})$ – продолжительность простоев в ожидании погрузки в начале смены, приходящаяся в среднем на один автосамосвал; $0,5T_p$ – незаконченная половина последнего рейса автосамосвала.

Продолжительность рейса автосамосвала определяется [3]:

$$T_p = t_{п} + t_{дв} + t_p + t_{мп} + t_{мр} + t_{ож.а} + t_{ож.р}, \quad (3.17)$$

где $t_{п}$ – время на погрузку одного автосамосвала (3.18), ч; $t_{дв}$ – продолжительность движения автосамосвала в грузовом и порожнем направлениях, ч; $t_{дв} = L_{тр} / V_{ст}$, где $V_{ст}$ – среднетехническая скорость движения автосамосвала по технологической трассе, определяется на основании хронометражных наблюдений как функция от дальности транспортирования ($L_{тр}$) и высоты подъема горной массы (H); t_p – продолжительность разгрузки автосамосвала, ч; $t_{мп}$ – продолжительность маневров при установке на разгрузку, ч; (Продолжительность разгрузочно-маневровых операций принимается также на основе хронометражных

наблюдений в условиях конкретного карьера), $t_{ож.а}$ – средняя продолжительность ожидания автосамосвалом очереди на погрузку (таблица 3.7), ч; $t_{ож.р}$ – средняя продолжительность ожидания автосамосвалом очереди на разгрузку (таблица 3.8), ч.

Время на погрузку одного автосамосвала определяется [3]:

$$t_{п} = t_{ц.э} (n_{ц.э} - 0,5). \quad (3.18)$$

Таблица 3.7 - Продолжительность ожидания автосамосвалом очереди на погрузку при $K_{об} = 0,9$, $(t_{ож})$, мин/рейс

Расстояние транспортирования, км	Закрытый цикл	Открытый цикл	Смешанный (открыто-закрытый) цикл
0,5-1,1	1,3	0,4	0,7
1,1-1,6	1,9	0,6	1,0
1,6-2,1	2,4	0,8	1,3
2,1-2,6	2,9	1,1	1,5
2,6-3,1	3,4	1,3	1,8

Таблица 3.8 - Длительность ожидания автосамосвалами очереди на разгрузку, мин/рейс

Число экскаваторов, обслуживающих пункт перегрузки	Число мест разгрузки на пункте перегрузки		
	2	3	4 и более
5 - 6	0,4	0,18	-
3 - 4	0,19	0,07	-
1 - 2	0,08	-	-

Расчетное количество автосамосвалов, которые может обслужить экскаватор за время одного транспортного цикла, определяется [3]:

$$N_a^p = \frac{t_{дв} + t_p + t_{мп}}{t_{п} + t_{мп}} + 1. \quad (3.19)$$

3. Производительность экскаваторно-автомобильного комплекса определяется как сумма производительностей работающих в нем автосамосвалов [3]:

$$P_K^{\delta} = \sum_i \sum_j P_{a_{ij}}, \quad (3.20)$$

где P_{aij} – сменная производительность автосамосвалов j -й модели, работающего с данным экскаватором на i -й технологической схеме.

Значения производительности экскаваторно-автомобильного комплекса, полученные по формулам (2.1) и (2.35), могут не совпадать, так как в формулах приняты некоторые допущения, обусловленные невозможностью одинаково точно учесть продолжительность внутрисменных перерывов, имеющих неопределенный вероятностный характер. Для плавных расчетов следует принимать меньшее из двух значений.

Для исследуемой технологии отработки уступов скальной вскрыши и руды поперечными панелями в крутонаклонных слоях по способу подъезда автосамосвалов к экскаватору при торцевом забое (характеру маневров) при наличии транспортных берм требуемой ширины и наличии двух транспортных выходов на уступе возможны сквозные схемы подачи автосамосвалов к экскаватору. При ширине поперечной панели в пределах 60-80 м наиболее целесообразной схемой подачи автосамосвалов к экскаватору является с петлевым разворотом и с одиночной установкой автосамосвала на погрузку.

Несмотря на увеличение угла поворота экскаватора при сквозных и петлевых схемах подачи автосамосвалов, они более рациональны ввиду сокращения времени их обмена. При этом целесообразны непопутное движение экскаватора и порожних автосамосвалов и установка последних с правой стороны экскаватора.

Как правило, на Качарском карьере используется вскрытие уступов с одного из их флангов. Поэтому при отработке уступов продольными панелями с узкими рабочими площадками можно использовать только схему подачи автосамосвалов к экскаватору с тупиковым разворотом. По сравнению с петлевой схемой разворота автосамосвалов простои экскаватора при тупиковом развороте автосамосвалов могут достигать 25-30% рабочего времени [1].

Полная ликвидация простоев автосамосвалов возможна только посредством спаренной установки автосамосвалов, при которой время подачи под погрузку совмещают с временем погрузки предыдущей машины. Однако это возможно в основном при фронтальном забое, что характерно, как правило, для дизельных гидравлических экскаваторов.

Статистическая обработка результатов работы экскаваторов на добыче руды и выемке пород скальной вскрыши в комплексе с автотранспортом показывает имеющиеся внутренние резервы увеличения их производительности. Однако при тупиковом развороте экскаваторов на узких площадках невозможно гарантировать увеличение их производительности. Замена парка на новые экскаваторы не решит этой проблемы. Только при переходе на циклично-поточную технологию за счет уменьшения высоты подъема автосамосвалов и расстояния транспортирования можно организовать сквозные схемы подъезда автосамосвалов при двух выходах с

уступа. При имеющем место значительном отставании вскрышных работ переход на отработку уступов поперечными панелями позволит организовать петлевые схемы подъезда автосамосвалов к экскаваторам на погрузку. Как показывает практика, за счет уменьшения времени на подъезд автосамосвалов к экскаваторам можно увеличить производительность экскаваторов по сравнению с тупиковым разворотом на 25-30%.

3.3 Установление поэтапных объемов вскрыши и руды в границах крутонаклонных слоев

При разработке рабочих чертежей по расконсервации временно нерабочего борта на Северном участке Качарского карьера в период 2019-2020 годы по отчету о научно-исследовательской работе по этапам 3 и 4 [1] было установлено, что в сложившихся условиях значительного отставания вскрышных работ наиболее целесообразной технологией использования экскаваторно-автомобильных комплексов является переход на отработку уступов скальной вскрыши поперечными панелями в крутонаклонных слоях.

Однако для окончательного принятия решения о возможности применения технологии отработки пород скальной вскрыши и руды до предельных проектных границ Качарского карьера поперечными панелями в крутонаклонных слоях потребовалось укрупненно отстроить поэтапные контуры карьера, обеспечивающие минимизацию объема вскрышных работ в ближайшие годы и достижение проектной мощности по руде [80].

Все 25 поэтапных контуров с существующей глубины Качарского карьера 375 м, за вычетом плановых объемов горных работ на 2019 год, до конечной его глубины 760 м, приведены в томе 2 этого отчета. Здесь на рисунках 3.9-3.14 даны ряд промежуточных положений Качарского карьера по соответствующим этапам 1, 5, 10, 15, 20 и 25, характеризующие динамику развития горных работ при переходе на отработку пород скальной вскрыши и руды в крутонаклонных слоях поперечными панелями [80].

Как видно из рисунков 3.9-3.14, конфигурация и длина фронта работ уступов по породам скальной вскрыши позволяет достичь соответствующей интенсивности их одновременной отработки несколькими экскаваторами. При этом, как показали построения на 2019 год, одновременно также можно отрабатывать по несколько уступов.

Как таковое деление на Северный и Южный участок отсутствует, поскольку поэтапные контуры формируются в границах Качарского карьера в целом. В соответствии с принятыми кондициями после окончания построений относящиеся к южной части месторождения в соответствующем контуре запасы руды также входят в подсчет поэтапных запасов руды.

В окончательном виде оставшиеся после плановых объемов горных работ в 2019 году поэтапные объемы вскрыши и руды в конечных контурах Качарского карьера приведены в таблице 3.9.

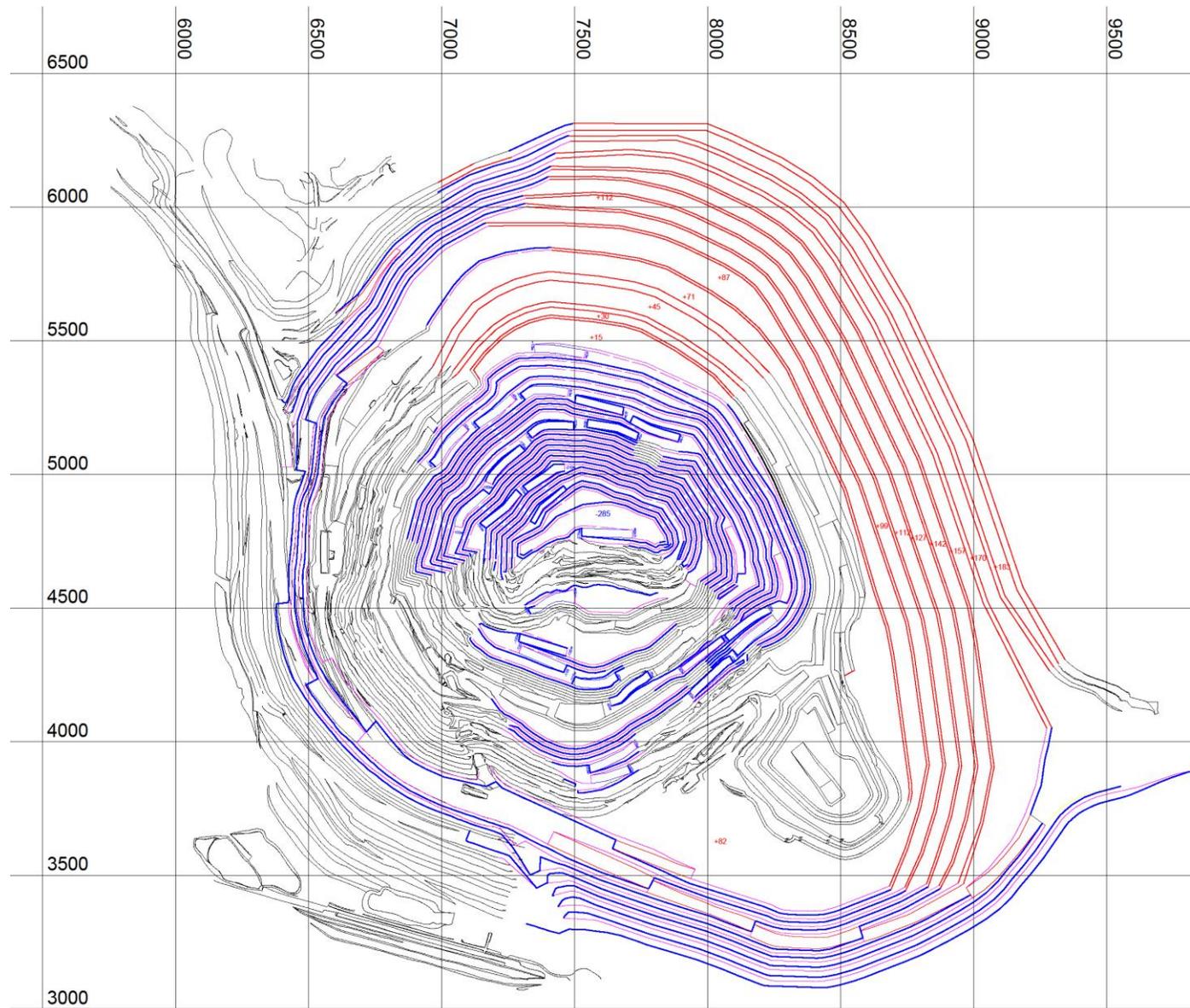


Рисунок 3.9 – Поэтапный контур Качарского карьера на этапе 1

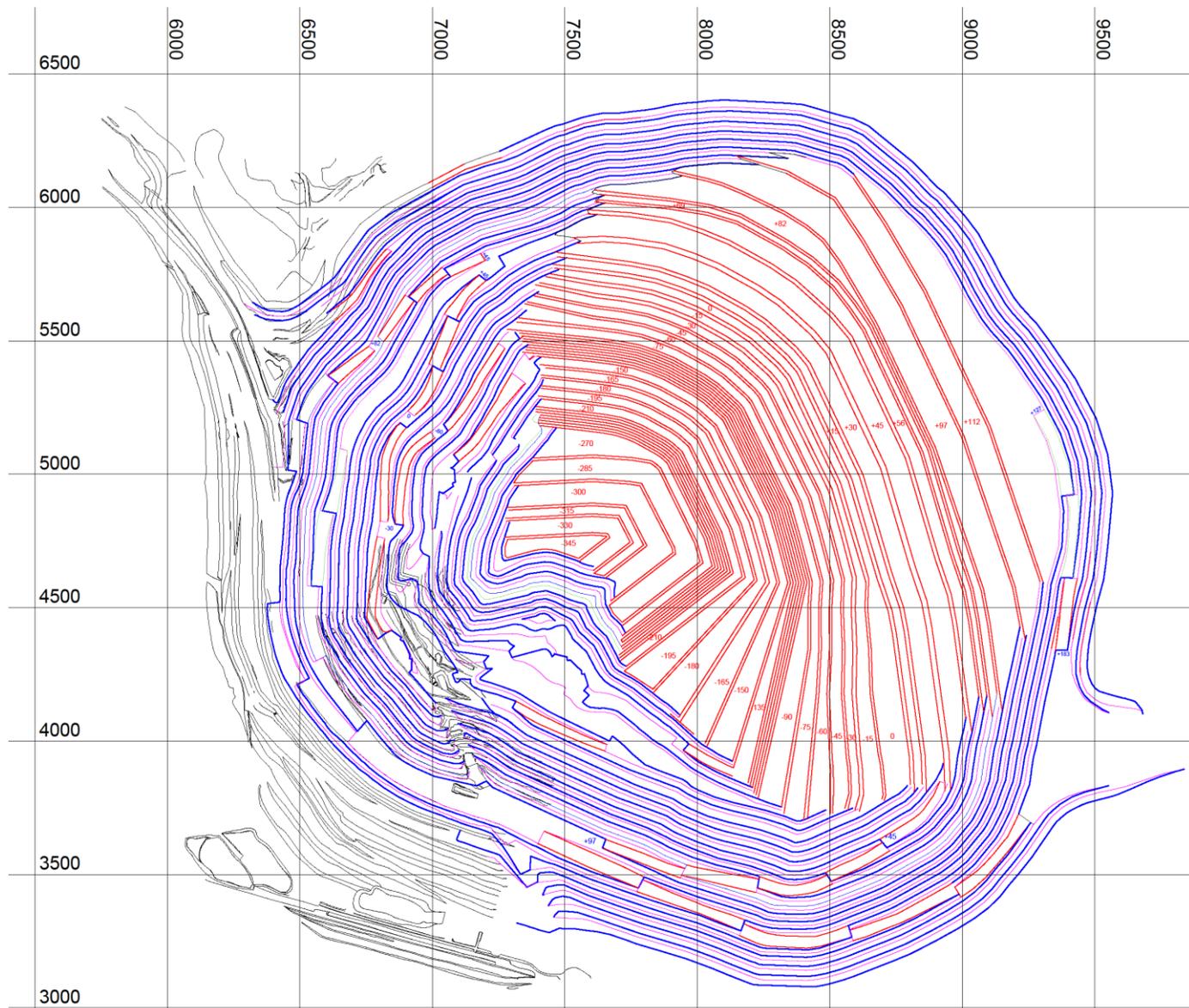


Рисунок 3.10 – Поэтапный контур Качарского карьера на этапе 5

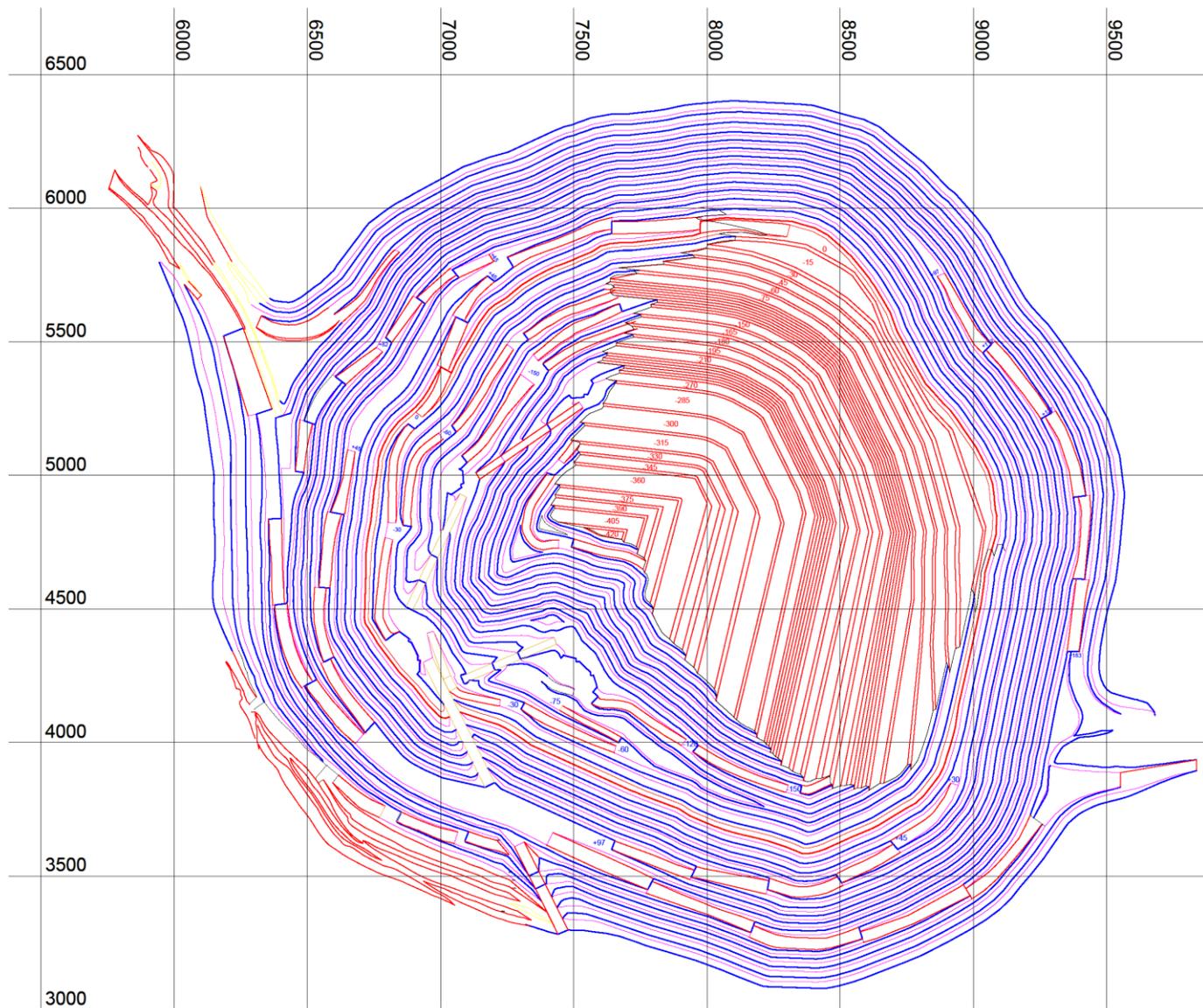


Рисунок 3.11 – Поэтапный контур Качарского карьера на этапе 10

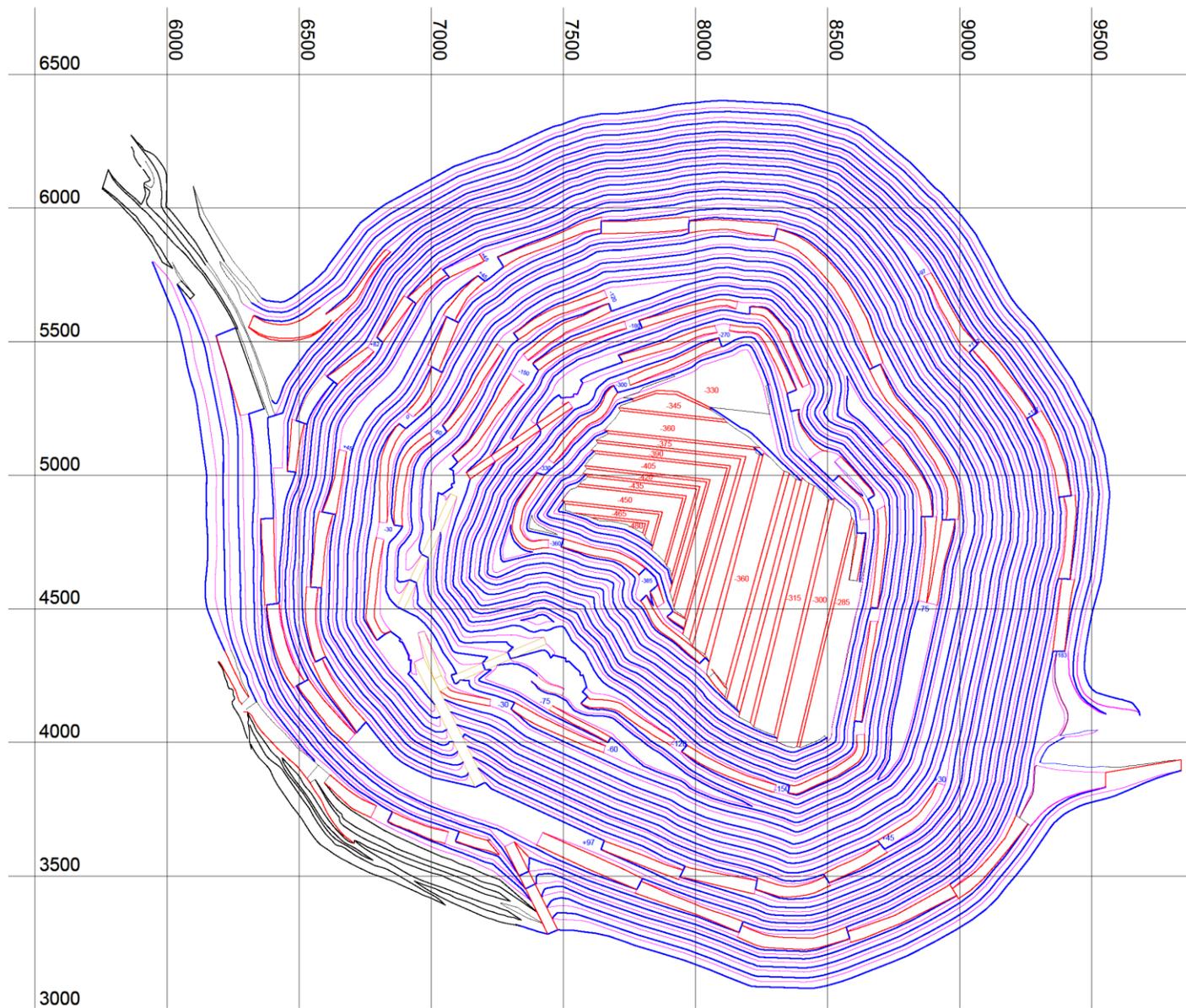


Рисунок 3.12 – Поэтапный контур Качарского карьера на этапе 15

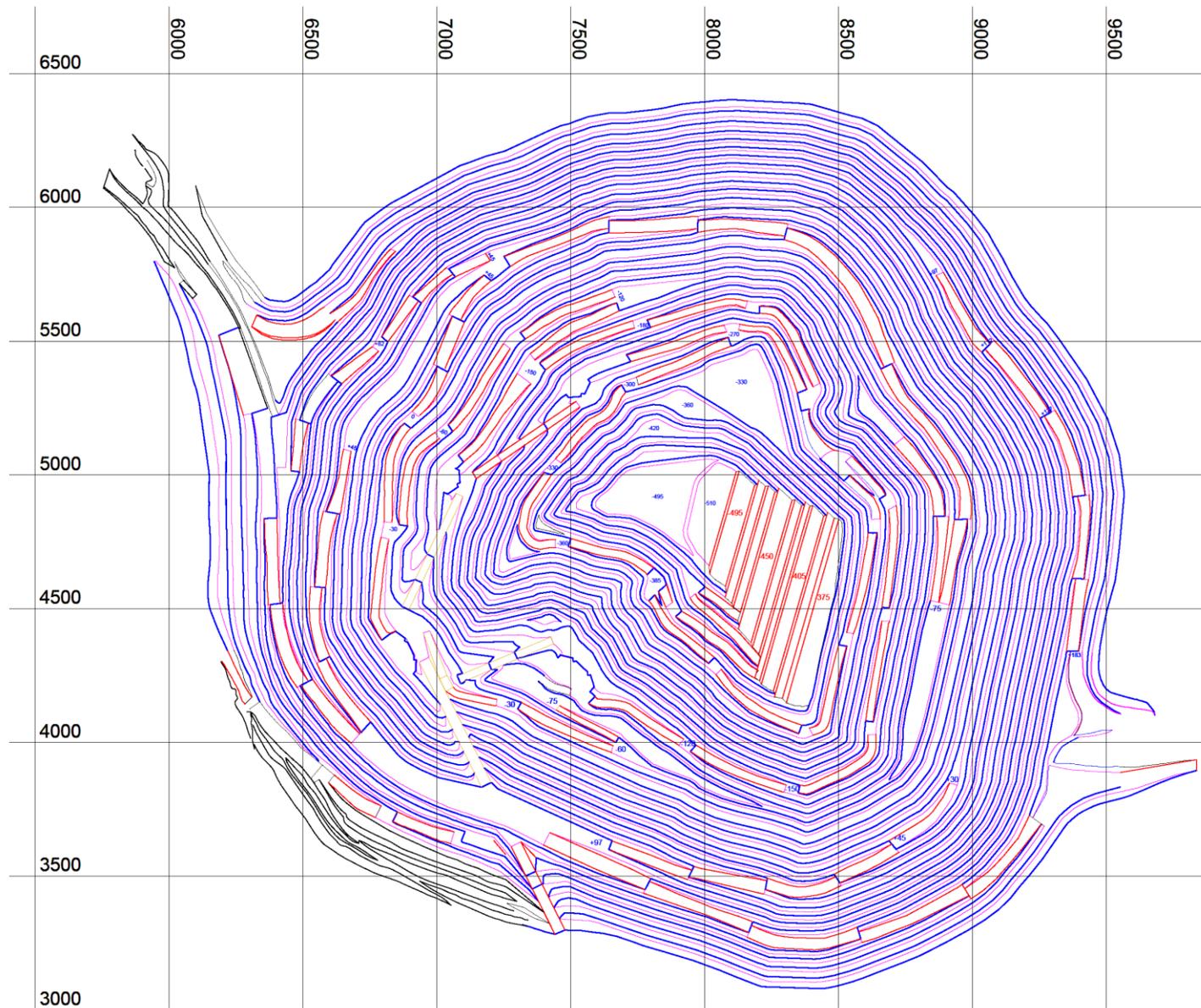


Рисунок 3.13 – Поэтапный контур Качарского карьера на этапе 20

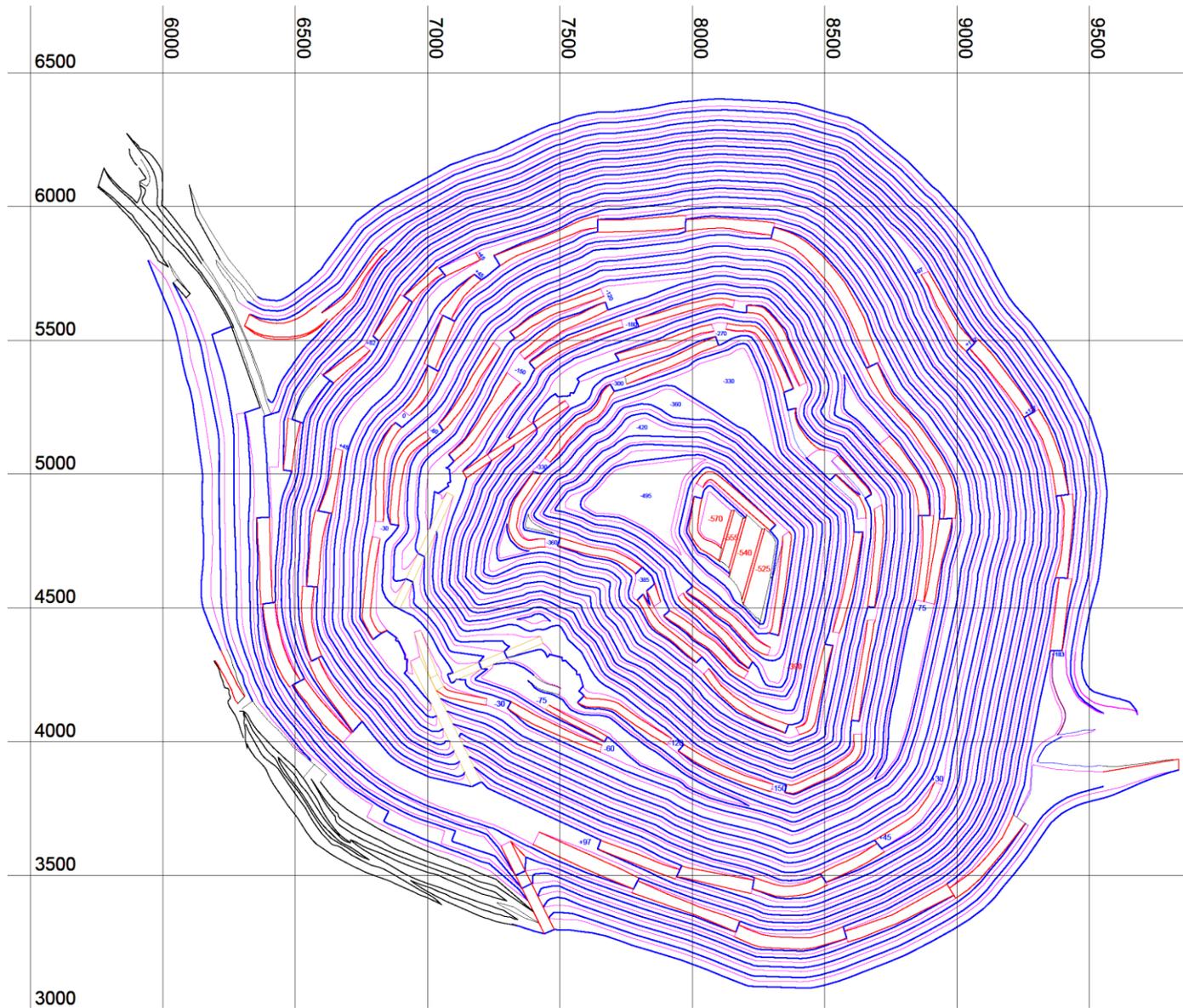


Рисунок 3.14 – Поэтапный контур Качарского карьера на этапе 25

Таблица 3.9 – Поэтапные оставшиеся объемы вскрыши и руды Качарского карьера

Вид горной породы	Ед. изм.	Поэтапные контуры Качарского карьера				
		1	2	3	4	5
		Текущая глубина карьера, м				
		475	475	490	520	535
1	2	3	4	5	6	7
Горная масса	м ³	48 956 930	127 112 760	105 663 528	153 937 806	62 419 390
	т	188 626 324	252 046 542	242 669 421	369 604 462	158 189 547
Породы рыхлой вскрыши	м ³	32 088 484	24 143 118	52 253 150	58 988 066	14 600 330
	т	57 759 271	43 457 612	94 055 670	106 178 519	26 280 594
Породы скальной вскрыши	м ³	43 006 304	70 236 397	38 985 753	71 432 114	37 291 122
	т	111 816 390	182 614 632	101 362 958	185 723 496	96 956 917
Всего вскрыши	м ³	75 094 788	94 379 515	91 238 903	130 420 180	51 891 452
	т	169 575 662	226 072 245	195 418 628	291 902 015	123 237 511
Руда	м ³	5 950 626	7 940 750	14 424 625	23 517 626	10 527 938
	т	19 050 662	25 974 297	47 250 793	77 702 447	34 952 036
	%Fe	34,11	36,53	36,69	37,65	38,17
Поэтапный коэффициент вскрыши	т/т	8,90	8,70	4,14	3,76	3,53

Продолжение таблицы 3.9

Вид горной породы	Ед. изм.	Поэтапные контуры Качарского карьера				
		6	7	8	9	10
		Текущая глубина карьера, м				
		550	565	580	595	610
1	2	8	9	10	11	12
Горная масса	м ³	68 547 033	73 167 342	63 832 147	59 902 168	55 997 571
	т	178 453 016	189 870 942	165 859 347	166 048 969	154 432 311
Породы рыхлой вскрыши	м ³	12 295 833	14 369 041	14 109 221	3 278 179	4 067 089
	т	22 132 499	25 864 274	25 396 598	5 900 722	7 320 760
Породы скальной вскрыши	м ³	41 184 700	41 638 363	31 921 613	37 002 301	34 290 857
	т	107 080 220	108 259 744	82 996 194	96 205 983	89 156 228
Всего вскрыши	м ³	53 480 533	56 007 404	46 030 834	40 280 480	38 357 946
	т	129 212 719	134 124 018	108 392 792	102 106 705	96 476 988
Руда	м ³	15 066 500	17 159 938	17 801 313	19 621 688	17 639 625
	т	49 240 297	55 746 924	57 466 555	63 942 264	57 955 323
	%Fe	36,44	35,77	35,05	36,11	37,02
Поэтапный коэффициент вскрыши	т/т	2,62	2,41	1,89	1,60	1,66

Продолжение таблицы 3.9

Вид горной породы	Ед. изм.	Поэтапные контуры Качарского карьера				
		11	12	13	14	15
		Текущая глубина карьера, м				
		625	640	640	655	670
1	2	13	14	15	16	17
Горная масса	м ³	48 837 692	28 447 272	22 385 403	17 954 724	12 160 474
	т	137 609 424	83 015 686	66 979 101	54 049 198	37 344 016
Породы рыхлой вскрыши	м ³	0	0	0	0	0
	т	0	0	0	0	0
Породы скальной вскрыши	м ³	33 584 317	17 214 459	11 448 090	9 423 161	5 906 911
	т	87 319 224	44 757 593	29 765 034	24 500 219	15 357 969
Всего вскрыши	м ³	33 584 317	17 214 459	11 448 090	9 423 161	5 906 911
	т	87 319 224	44 757 593	29 765 034	24 500 219	15 357 969
Руда	м ³	15 253 375	11 232 813	10 937 313	8 531 563	6 253 563
	т	50 290 200	38 258 093	37 214 067	29 548 979	21 986 047
	%Fe	37,41	40,95	40,84	42,73	44,29
Поэтапный коэффициент вскрыши	т/т	1,74	1,17	0,80	0,83	0,70

Продолжение таблицы 3.9

Вид горной породы	Ед. изм.	Поэтапные контуры Качарского карьера				
		16	17	18	19	20
		Текущая глубина карьера, м				
		685	685	685	685	700
1	2	18	19	20	21	22
Горная масса	м ³	14 219 387	12 054 819	8 784 661	7 553 965	7 189 332
	т	43 065 810	35 607 708	25 799 069	22 305 618	21 974 395
Породы рыхлой вскрыши	м ³	0	0	0	0	0
	т	0	0	0	0	0
Породы скальной вскрыши	м ³	6 481 262	5 630 194	4 106 161	3 710 777	3 358 394
	т	16 851 281	14 638 504	10 676 019	9 648 020	8 731 824
Всего вскрыши	м ³	6 481 262	5 630 194	4 106 161	3 710 777	3 358 394
	т	16 851 281	14 638 504	10 676 019	9 648 020	8 731 824
Руда	м ³	7 738 125	6 424 625	4 678 500	3 843 188	3 830 938
	т	26 214 529	20 969 204	15 123 050	12 657 598	13 242 571
	%Fe	40,37	36,29	35,20	37,29	42,52
Поэтапный коэффициент вскрыши	т/т	0,64	0,70	0,71	0,76	0,66

Продолжение таблицы 3.9

Вид горной породы	Ед. изм.	Поэтапные контуры Качарского карьера				
		21	22	23	24	25
		Текущая глубина карьера, м				
1	2	715	730	730	760	760
Горная масса	м ³	5 905 649	4 213 603	3 570 703	1 699 604	987 684
	т	18 551 755	13 143 156	11 195 525	5 545 192	3 143 336
Породы рыхлой вскрыши	м ³	0	0	0	0	0
	т	0	0	0	0	0
Породы скальной вскрыши	м ³	2 634 836	1 820 415	1 448 765	437 854	325 496
	т	6 850 574	4 733 079	3 766 789	1 138 420	846 290
Всего вскрыши	м ³	2 634 836	1 820 415	1 448 765	437 854	325 496
	т	6 850 574	4 733 079	3 766 789	1 138 420	846 290
Руда	м ³	3 270 813	2 393 188	2 121 938	1 261 750	662 188
	т	11 701 181	8 410 077	7 428 736	4 406 772	2 297 046
	%Fe	46,08	44,24	43,85	43,60	42,89
Поэтапный коэффициент вскрыши	т/т	0,59	0,56	0,51	0,26	0,37

Продолжение таблицы 3.9

Вид горной породы	Ед. изм.	Всего оставшихся объемов горных работ в проектном контуре Качарского карьера
1	2	28
Горная масса	м ³	1 015 501 647
	т	2 645 129 869
Породы рыхлой вскрыши	м ³	230 192 511
	т	414 346 520
Породы скальной вскрыши	м ³	554 520 616
	т	1 441 753 602
Всего вскрыши	м ³	784 713 127
	т	1 856 100 122
Руда	м ³	238 084 509
	т	789 029 748
	%Fe	37,16
Средний коэффициент вскрыши	т/т	2,35

Количество этапов соответствует количеству крутонаклонных слоев. Они представляют из себя оболочки карьера без уточнения

месторасположения временных и скользящих съездов. Поскольку отработка пород скальной вскрыши экскаваторно-автомобильными комплексами производится сверху вниз, то в каждом очередном этапе отработки учитываются оставшиеся неотработанные объемы руды предыдущего этапа отработки.

На этапах 1 и 2 производится ликвидация отставания вскрышных работ. Несмотря на то, что в чертежах на Южном участке не показаны добычные работы с 2019г, при расчете объемов горных работ вычтены объемы по Южному участку на 2019г.

По мягким породам по мере достижения проектных контуров на верхних горизонтах ширина крутонаклонного слоя определяется по ширине заходки драглайна в 40-50 м. Обеспечение соразмерного развития вскрышной и добычной зон достигается, когда на один крутонаклонный слой будет приходиться по две заходки драглайна при ширине крутонаклонного слоя 60-80 м, соответствующей ширине поперечной панели по породам скальной вскрыши.

Следует также отметить, что на первых этапах, в породах скальной вскрыши, местами сохраняли крутой борт в 3 уступа, чтобы обеспечить понижение горных работ и соответствующее уменьшение текущего коэффициента вскрыши.

3.4 Предлагаемый календарный график производства горных работ при реализации технологии отработки уступов пород скальной вскрыши и руды поперечными панелями в крутонаклонных слоях

Первоначально определим требуемую производительность по вскрыше. Трансформация результатов горно-геометрического анализа в календарный график вскрышных работ после 2019 года выполняется по данным таблицы 3.9.

В связи с имеющим местом отставанием по вскрыше производительность по руде для первых двух этапов принимаем равной 15 млн. т в год. Плановая производительность по руде на 2019 год составила 14800 тыс. т при производительности по вскрыше 97,7898 тыс. т. Текущий коэффициент вскрыши достигал 6,61 т/т.

Полученные по предварительно отстроеным поэтапным контурам календарные графики горных работ потребовали изыскать резервы по переносу части объемов вскрышных пород этапов 1 и 2 на этап 3. Полученный в результате этого календарный график производительности по вскрыше Качарского карьера приведен в таблице 3.10.

Таблица 3.10 - Календарный график производительности по вскрыше

Наименование показателей	Ед. изм.	Этапы отработки			
		1	2	3	4
1	2	3	4	5	6
Поэтапные запасы руды	т	19 050 662	25 974 297	47 250 793	77 702 447
Время отработки этапа	лет	1,27	1,73	2,39	3,24
Производительность карьера по мягкой вскрыше	тыс. т	45478	25097	39314	32795
Производительность карьера по скальной вскрыше	тыс. т	88041	105459	42368	57365
Производительность карьера по вскрыше в целом	тыс. т	133520	130555	81682	90160

Продолжение таблицы 3.10

Наименование показателей	Ед. изм.	Этапы отработки			
		5	6	7	8
1	2	7	8	9	10
Поэтапные запасы руды	т	34 952 036	49 240 297	55 746 924	57 466 555
Время отработки этапа	лет	1,46	2,05	2,32	2,39
Производительность карьера по мягкой вскрыше	тыс. т	18046	10788	11135	10606
Производительность карьера по скальной вскрыше	тыс. т	66576	52192	46608	34662
Производительность карьера по вскрыше в целом	тыс. т	84622	62979	57743	45269

Продолжение таблицы 3.10

Наименование показателей	Ед. изм.	Этапы отработки			
		9	10	11	12
1	2	11	12	13	14
Поэтапные запасы руды	т	63 942 264	57 955 323	50 290 200	38 258 093
Время отработки этапа	лет	2,66	2,41	2,10	1,59
Производительность карьера по мягкой вскрыше	тыс. т	2215	3032	0	0
Производительность карьера по скальной вскрыше	тыс. т	36110	36921	41671	28077
Производительность карьера по вскрыше в целом	тыс. т	38325	39952	41671	28077

Продолжение таблицы 3.10

Наименование показателей	Ед. изм.	Этапы отработки			
		13	14	15	16
1	2	15	16	17	18
Поэтапные запасы руды	т	37 214 067	29 548 979	21 986 047	26 214 529
Время отработки этапа	лет	1,55	1,23	0,92	1,09
Производительность карьера по мягкой вскрыше	тыс. т	0	0	0	0
Производительность карьера по скальной вскрыше	тыс. т	19196	19899	16765	15428
Производительность карьера по вскрыше в целом	тыс. т	19196	19899	16765	15428

Продолжение таблицы 3.10

Наименование показателей	Ед. изм.	Этапы отработки			
		17	18	19	20
1	2	19	20	21	22
Поэтапные запасы руды	т	20 969 204	15 123 050	12 657 598	13 242 571
Время отработки этапа	лет	0,87	0,63	0,53	0,55
Производительность карьера по мягкой вскрыше	тыс. т	0	0	0	0
Производительность карьера по скальной вскрыше	тыс. т	16754	16943	18294	15825
Производительность карьера по вскрыше в целом	тыс. т	16754	16943	18294	15825

Продолжение таблицы 3.10

Наименование показателей	Ед. изм.	Этапы отработки			
		21	22	23	24
1	2	23	24	25	26
Поэтапные запасы руды	т	11 701 181	8 410 077	7 428 736	4 406 772
Время отработки этапа	лет	0,49	0,35	0,31	0,18
Производительность карьера по мягкой вскрыше	тыс. т	0	0	0	0
Производительность карьера по скальной вскрыше	тыс. т	14051	13507	12169	6200
Производительность карьера по вскрыше в целом	тыс. т	14051	13507	12169	6200

Продолжение таблицы 3.10

Наименование показателей	Ед. изм.	Этапы отработки
		25
1	2	27
Поэтапные запасы руды	т	2 297 046
Время отработки этапа	лет	0,10
Производительность карьера по мягкой вскрыше	тыс. т	0
Производительность карьера по скальной вскрыше	тыс. т	8842
Производительность карьера по вскрыше в целом	тыс. т	8842

Преобразование результатов расчета таблицы 3.10 позволило получить календарный график горных работ Качарского карьера при отработке пород скальной вскрыши в крутонаклонных слоях поперечными панелями (таблица 3.11). Его диаграмма приведена на рисунке 3.15.

Таблица 3.11 - Календарный график горных работ на Качарском карьере при отработке пород скальной вскрыши в крутонаклонных слоях поперечными панелями

Наименование показателей	Ед. изм.	Календарные годы							
		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Производительность по руде	тыс. т	15000	15000	15000	19500	24000	24000	24000	24000
Производительность по мягкой вскрыше	тыс. т	45478	30600	25097	39314	39314	35338	32795	32795
Производительность по скальной вскрыше	тыс. т	88041	100756	105459	42368	42368	51516	57365	57365
Производительность по вскрыше	тыс. т	133519	131356	130555	81682	81682	86853	90160	90160
Текущий коэффициент вскрыши	т/т	8,90	8,76	8,70	4,19	3,40	3,62	3,76	3,76

Продолжение таблицы 3.11

Наименование показателей	Ед. изм.	Календарные годы							
		2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1	2	11	12	13	14	15	16	17	18
Производительность по руде	тыс. т	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000
Производительность по мягкой вскрыше	тыс. т	27338	18046	11441	10788	11086	11135	10850	10606
Производительность по скальной вскрыше	тыс. т	60773	66576	53486	52192	47389	46608	40157	34662
Производительность по вскрыше	тыс. т	88111	84622	64927	62979	58476	57743	51007	45269
Текущий коэффициент вскрыши	т/т	3,67	3,53	2,71	2,62	2,44	2,41	2,13	1,89

Продолжение таблицы 3.11

Наименование показателей	Ед. изм.	Календарные годы							
		2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
1	2	19	20	21	22	23	24	25	26
Производительность по руде	тыс. т	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000
Производительность по мягкой вскрыше	тыс. т	9348	2215	2215	2615	3032	2789	0	0
Производительность по скальной вскрыше	тыс. т	34879	36110	36110	36507	36921	37301	41671	41671
Производительность по вскрыше	тыс. т	44227	38325	38325	39122	39952	40090	41671	41671
Текущий коэффициент вскрыши	т/т	1,84	1,60	1,60	1,63	1,66	1,67	1,74	1,74

Продолжение таблицы 3.11

Наименование показателей	Ед. изм.	Календарные годы							
		2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051
1	2	27	28	29	30	31	32	33	34
Производительность по руде	тыс. т	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	21000
Производительность по мягкой вскрыше	тыс. т	0	0	0	0	0	0	0	0
Производительность по скальной вскрыше	тыс. т	28349	24614	19196	19787	17987	15842	16224	17027
Производительность по вскрыше	тыс. т	28349	24614	19196	19787	17987	15842	16224	17027
Текущий коэффициент вскрыши	т/т	1,18	1,03	0,80	0,82	0,75	0,66	0,68	0,81

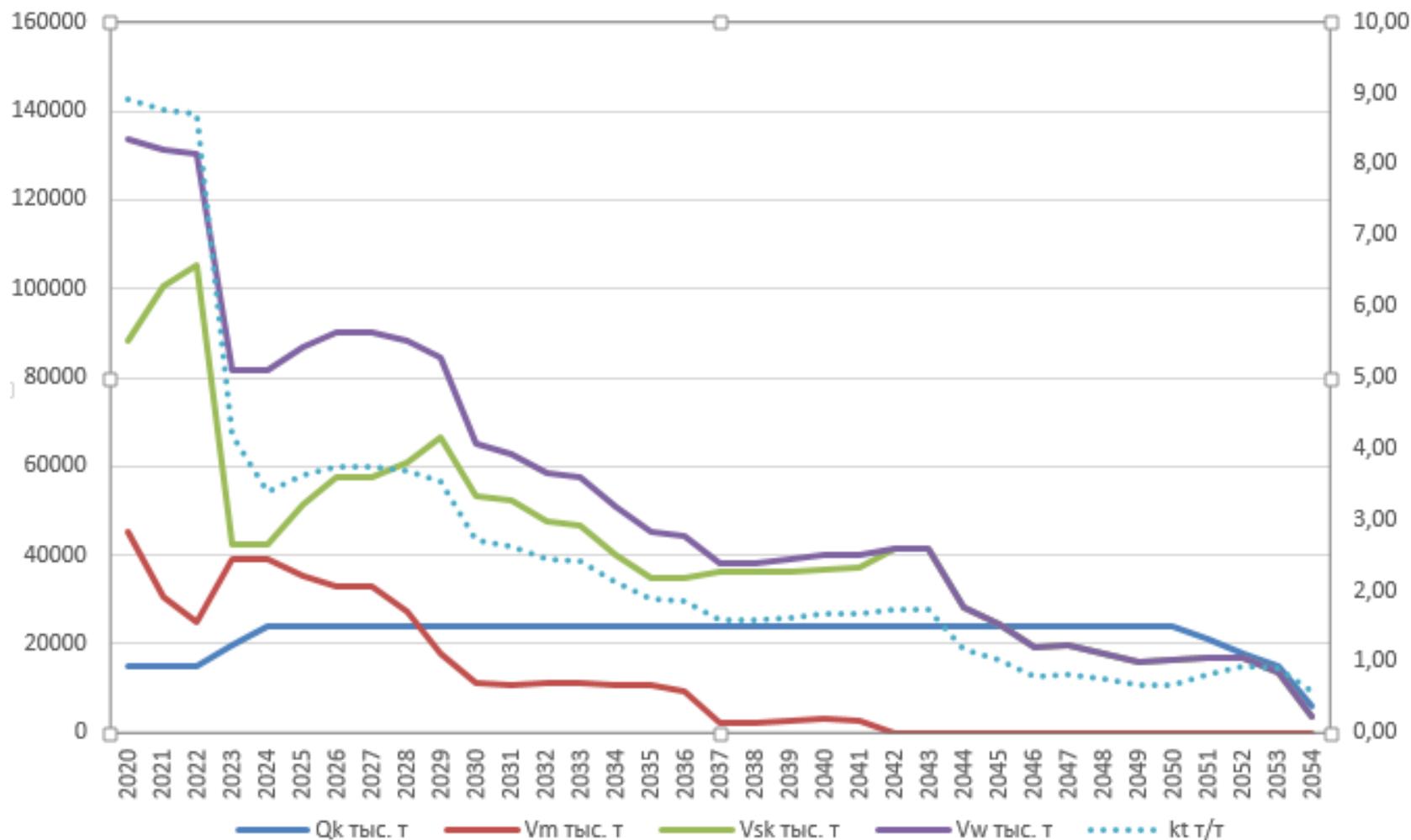
Продолжение таблицы 3.11

Наименование показателей	Ед. изм.	Календарные годы		
		2052	2053	2054
1	2	35	36	37
Производительность по руде	тыс. т	18000	15000	6150
Производительность по мягкой вскрыше	тыс. т	0	0	0
Производительность по скальной вскрыше	тыс. т	16851	13522	3582
Производительность по вскрыше	тыс. т	16851	13522	3582
Текущий коэффициент вскрыши	т/т	0,94	0,90	0,58

Анализ календарного графика горных работ показывает, что наибольшие затруднения возникают в первые три года – 2020-2022 годы. Текущий коэффициент вскрыши при добыче руды по 15 млн. т будет изменяться от 8,9 до 8,7 т/т. Но с учетом имеющего место отставания вскрышных работ его удастся уменьшить почти на 25%. Двукратное уменьшение объемов скальной вскрыши в 2023 году позволит увеличить добычу руды на 30% - до 19,5 млн. т, а в 2024 году – соответственно на 60% и освоить проектную мощность в 24 млн. т.

Увеличение проектной мощности на 1 млн. т руды с 2024 года связано с разгрузкой других карьеров объединения, большая часть горнотранспортной техники которой будет задействована в период 2019-2023 годы на Качарском карьере, с переходом на использование более мощной современной горнотранспортной техники, ранее не предусмотренной в проекте Гипроруда, а также реализацией технологии отработки пород скальной вскрыши в крутонаклонных слоях поперечными панелями, значительно уменьшающее текущий разнос бортов единого карьера при увеличении длины фронта работ каждого уступа.

Также следует отметить, что с понижением горных работ отдельная отработка Северного и Южного участков затрудняет трассирование вскрывающих выработок в стесненных условиях, даже с применением автотранспорта. Постепенный переход на отработку запасов обоих участков единым карьером позволит более интенсивно вести горные работы поперечными панелями в крутонаклонных слоях.



Q_k, V_m, V_{sk}, V_w - годовые производительности карьера соответственно по руде, породам мягкой вскрыши, породам скальной вскрыши, вскрыши в целом; k_t – текущий коэффициент вскрыши
 Рисунок 3.15 – Диаграмма календарного графика горных работ на Качарском карьере при отработке пород скальной вскрыши в крутонаклонных слоях поперечными панелями

3.5 Технология применения драглайнов в комплексе с железнодорожным транспортом при отработке пород рыхлой вскрыши

На базе действующих и перспективных карьеров Казахстана при выполнении предпроектных проработок доказана техническая возможность и экономическая целесообразность перехода на отработку высоких уступов поперечными панелями с одного или с двух уровней стояния экскаваторов при ориентации фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов крутых бортов. Установлено, что при использовании экскаваторно-автомобильных комплексов достигается последовательное ритмичное производство вскрышных и добычных работ в каждом последующем прирезаемом технологическом этапе отработки с экономичным календарным графиком отработки месторождений.

При отсутствии рабочих площадок нормальной ширины формирование ниш, первоначально одной, а потом и второй рабочих зон вдоль крутого борта с переходом на отработку высоких уступов поперечными панелями позволит в кратчайшие сроки выйти на проектные объемы добычи. Дополнительный объем горно-капитальных работ на формирование ниши компенсируется значительным снижением текущих объемов вскрышных работ. Независимое развитие рабочей зоны относительно крутых бортов сверху вниз с минимально достаточными размерами при использовании мощных экскаваторно-автомобильных комплексов обеспечит концентрацию горных работ на постоянной основе при минимальных требуемых объемах выемки вскрышных пород без формирования временно нерабочих бортов и ежемесячного регулирования вскрываемых запасов руды непосредственно в карьере.

Задача расконсервации временно нерабочего борта в коренных породах этого месторождения широкими панелями состояла в установлении технической возможности и экономической целесообразности перехода на развитие рабочей зоны вдоль крутого борта при ориентации фронта работ их уступов перпендикулярно друг другу. Решение данной задачи в данных условиях выполнялось при непосредственном составлении плана развития горных работ на 2019 год в тесном контакте со специалистами технической службы предприятия.

Тем не менее, один из первых вариантов перехода на отработку уступов широкими панелями показал, что значительное отставание вскрышных работ не позволит охватить рабочей зоной всю поверхность рабочего борта в коренных породах и ограничит ширину панели.

При применении комбинированного автомобильно-железнодорожного транспорта, когда верхние горизонты, представленные рыхлыми породами, отрабатываются торцевым забоем с нижним черпанием шагающими экскаваторами или экскаваторами с обратной лопатой по всей длине фронта работ уступа с погрузкой в железнодорожный транспорт, а нижние горизонты, представленные скальными породами, отрабатываются

поперечными панелями и ориентацией фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов рабочего борта с использованием экскаваторно-автомобильных комплексов, возникает проблема взаимоувязки в граничной зоне их применения. Поскольку обе технологии предполагают разное направление развития рабочей зоны, оказывается невозможным формирование новой ниши из-за расположения на этом горизонте железнодорожных путей.

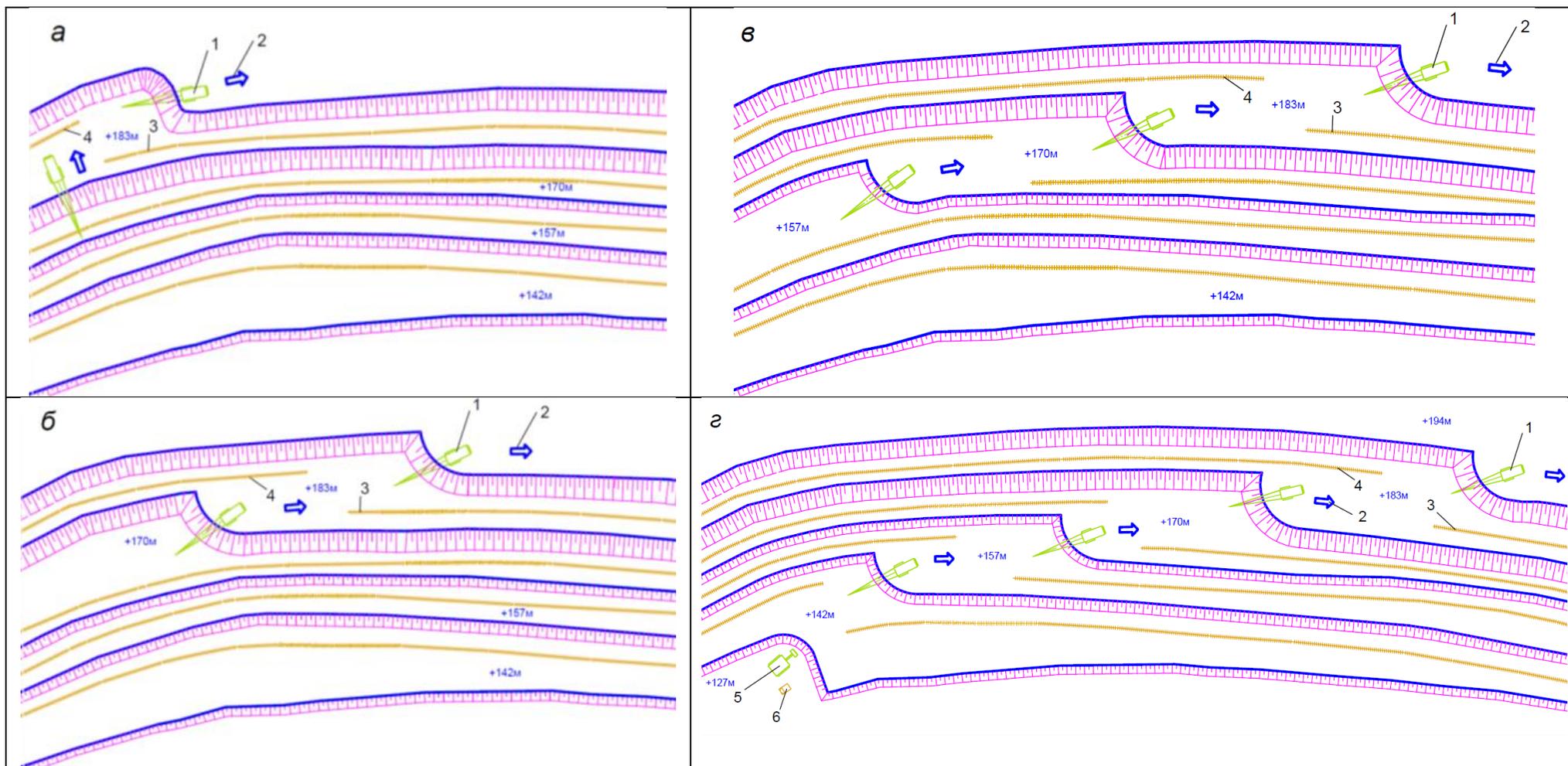
Для решения этой задачи предлагается верхние горизонты обрабатывать по схеме с торцевым забоем, но с исключением сквозного передвижения железнодорожного транспорта и ограниченным отдельным грузопотоком на каждый фланг карьера. В таком случае ниша формируется с самого верхнего горизонта (рисунок 3.16, а). Ширина ниши B_n принимается равной ширине заходки драглайна A_{max} , которая в свою очередь определяется по известной формуле исходя из радиуса черпания драглайна R_q [4]:

$$A_{max} = R_q(\sin\omega_1 + \sin\omega_2),$$

где ω_1 и ω_2 – углы разворота экскаватора от его оси при черпании.

После формирования ниши, экскаватор продолжает работу торцевым забоем и по мере его подвигания железнодорожные пути на нижнем горизонте, куда осуществляется погрузка, переукладываются в отступающем порядке ближе к уступу ниши на расстояние, равное ширине заходки, таким образом обеспечивая на этом горизонте рабочую площадку для отработки уступа нижнего горизонта (рисунок 3.16, б). По такой же схеме формируется ниша на следующем горизонте и переукладка путей (рисунок 3.16, в), и так далее до достижения горизонта пород скальной вскрыши, где используются экскаваторно-автомобильные комплексы (рисунок 3.16, г).

Такой порядок развития рабочей зоны поможет сократить сроки расконсервации нерабочего борта карьера из-за увеличения угла наклона при рабочем состоянии и решить проблему увязки вскрышных работ по породам рыхлой и скальной вскрыши с использованием разных технологических комплексов (ЭЖК и ЭАК), обеспечивая фронтом работ экскаваторы по всем флангам карьера.



1 – Шагающий экскаватор с нижним черпанием; 2 – направление фронта работ экскаватора;
 3 – железнодорожные пути до переукладки, 4 - железнодорожные пути после переукладки; 5 – экскаватор типа «прямая лопата», 6 – автосамосвал

Рисунок 3.16 – Технология использования шагающего экскаватора в комплексе с железнодорожным транспортом

3.6 Выводы по главе

Достаточно большой и ответственный объем работ по раконсервации временно нерабочего борта на Северном участке Качарского карьера с апробацией предложенной технологии отработки уступов в коренных породах ниже границы применения железнодорожного транспорта поперечными панелями в границах крутонаклонного слоя позволил решить текущие задачи проекта.

Реализация предлагаемой технологии на постоянной основе позволит добиться высокоритмичного производства горных работ. Однако в рамках этого проекта в связи ограниченным сроком выполнения не представляется возможным определить сроки начала отработки каждого последующего крутонаклонного слоя определенной шириной. От этого будет зависеть срок переноса перегрузочных пунктов с автотранспорта на железнодорожный транспорт и требуемые объемы выемки рыхлых пород.

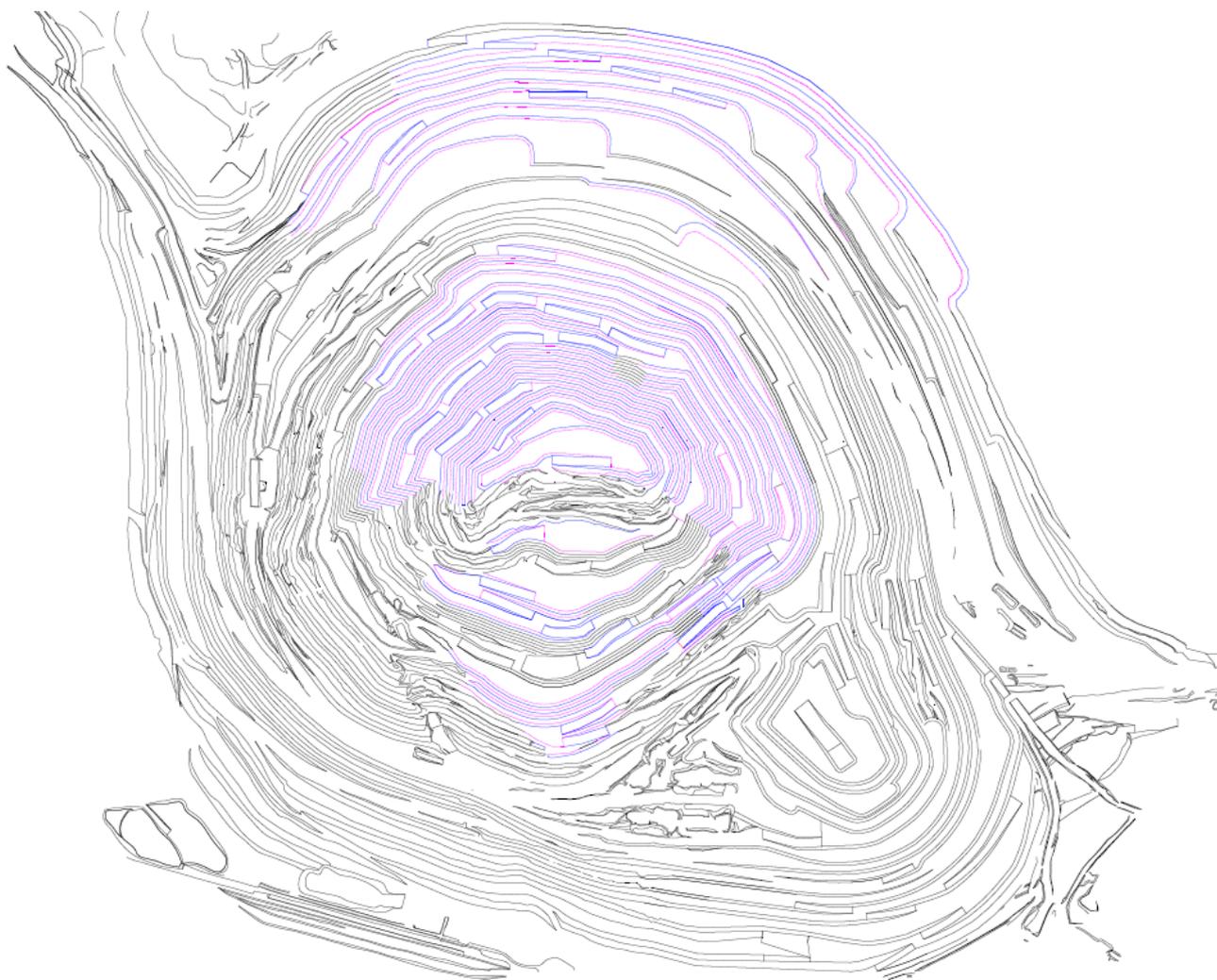


Рисунок 3.17 – Положение горных работ и вскрывающих выработок до дна Северного участка Качарского карьера к концу 2020 года

Выполненная апробация технологии развития рабочей зоны вдоль крутой части рабочего борта Северного участка Качарского карьера при расконсервации временно нерабочей его части подтвердила целесообразность отработки уступов в коренных породах поперечными панелями с использованием экскаваторно-автомобильных комплексов. Только на некоторых горизонтах между сдвоенными уступами (по высоте через 30 м) не удалось сформировать транспортные бермы шириной не менее 30 м. Поэтому работы по формированию рабочего борта Северного участка будут продолжены после начала отработки следующего крутонаклонного слоя в коренных породах.

Установлено, что разработанная технология безопасного интенсивного развития рабочей зоны вдоль крутых бортов позволит отказаться от формирования временно нерабочих бортов для уменьшения текущих объемов вскрышных работ в условиях Качарского карьера, а отработка коренных пород крутонаклонными слоями обеспечит условия для перехода на высокоритмичное производство горных работ с достижением проектной его мощности.

Реализация предлагаемой технологии развития рабочих зон вдоль крутых бортов на действующем карьере имеет свои особенности. Как правило, значительное отставание вскрышных работ, особенно в нижней ее зоне, ограничивает наличие подготовленных запасов руды.

На предыдущем этапе установлено, что при реализации предлагаемой технологии отработки уступов ниже границы применения железнодорожного транспорта поперечными панелями в крутонаклонных слоях плановый объем добычи руды в границах Северного участка Качарского карьера в 2019 году составит 11,75 млн. т при переходящих запасах на 2020 год: подготовленных – 4738213 т и готовых к выемке – 3540560 т. Эти запасы руды мы отнесли к этапу 1 при выделении поэтапных контуров в виде крутонаклонных слоев шириной 60-80 м до предельных границ Качарского карьера.

Поэтому на каждом этапе, в особенности в начальный период, в их конструкции учитываются переходящие запасы руды, вскрытые на предыдущем этапе, а при планировании развития горных работ следует базироваться на отстроенные поэтапные крутонаклонные контуры и полученный укрупненно календарный график производства горных работ (таблица 3.11). Его корректировка может проводиться с учетом данных календарного графика производительности по вскрыше (таблица 3.10).

Сокращение сроков освоения и стабилизации проектной мощности карьера при минимальных объемах вскрышных работ достигается при своевременном начале отработки уступов очередного крутонаклонного слоя поперечными панелями определенной ширины в границах коренных пород с высокопроизводительным использованием экскаваторно-автомобильных комплексов на широких площадках. Поэтому при планировании развития горных работ следует выполнять расчет производительности экскаваторов на выемке пород скальной вскрыши для интенсивной отработки уступов

поперечными панелями сверху вниз ниже границы применения железнодорожного транспорта. При невозможности обеспечения подготовленных запасов для выполнения планируемого объема добычи следует вести одновременную совместную отработку уступов пород скальной вскрыши продольными и поперечными панелями.

Учитывая сокращение длины фронта работ уступов с понижением горных работ и в целях упрощения трассирования вскрывающих выработок для автотранспорта, в проекте предлагается технологию отработки пород скальной вскрыши и руды в крутонаклонных слоях поперечными панелями реализовать единым карьером, контуры которого развиваются с границ Северного участка.

При использовании экскаваторно-автомобильных комплексов по предлагаемой технологии отработки уступов поперечными панелями в крутонаклонных слоях можно увеличить их производительность на 25-30%, что наряду с уменьшением разноса бортов карьера компенсирует интенсивность вскрытия рудной залежи сверху вниз.

При ширине поперечной панели в пределах 60-80 м исследуемой технологии отработки уступов скальной вскрыши и руды наиболее целесообразной является схема подачи автосамосвалов к экскаватору с петлевым разворотом и с одиночной установкой автосамосвала на погрузку. По сравнению с тупиковым разворотом автосамосвалов по используемой технологии отработки уступов продольными панелями переход на их отработку поперечными панелями с петлевым разворотом автосамосвалов на погрузку позволит увеличить производительность экскаваторов на 25-30%, что наряду с уменьшением разноса бортов карьера компенсирует интенсивность вскрытия рудной залежи сверху вниз в границах крутонаклонных слоев.

Анализ календарного графика горных работ при переходе к отработке уступов скальной вскрыши поперечными панелями в крутонаклонных слоях показывает, что наибольшие затруднения возникают в первые три года – 2020-2022 годы. Текущий коэффициент вскрыши при добыче руды по 15 млн. т будет изменяться от 8,9 до 8,7 т/т. Но с учетом имеющего место отставания вскрышных работ его удастся уменьшить почти на 25%. Достигается это за счет переноса части объемов вскрышного отставания с 1 и 2 крутонаклонных этапов на 3 этап. Двукратное уменьшение объемов скальной вскрыши в 2023 году позволит увеличить добычу руды на 30% - до 19,5 млн. т, а в 2024 году – соответственно на 60% и 24 млн. т.

В рамках рекомендаций по оптимизации режима горных работ и производительности экскаваторно-автомобильных комплексов выполнены оптимизация положения комплексов циклично-поточной технологии при доработке глубоких железорудных карьеров, управление параметрами развития в приконтурной и глубинной зонах сверхглубокого железорудного карьера, совершенствование схем открытой доработки приконтурных запасов руды, обоснование параметров переноса внутрикарьерных перегрузочных

пунктов в условиях глубинной зоны железорудных карьеров и предложена технология применения драглайнов в комплексе с железнодорожным транспортом при обработке пород рыхлой вскрыши.

В результате исследований доказано, что переход на комбинированный автомобильно-конвейерно-железнодорожный вид транспорта экономически целесообразен и позволит расширить границы эффективного применения открытого способа разработки Качарского железорудного месторождения.

Установлено, что наименьший средний коэффициент вскрыши достигается при минимальном значении суммы объемов полезного ископаемого приконтурной зоны лежащего и висячего боков залежи в проектном положении [82, 83]. Наименьший текущий коэффициент вскрыши достигается при минимальном значении суммы объемов полезного ископаемого приконтурной зоны лежащего и висячего боков залежи, а также рабочего борта карьера в текущем положении.

Выполненный анализ схем доработки приконтурных запасов полезного ископаемого в транспортных целиках позволяет сделать вывод, что на больших глубинах разработки железорудных пластовых месторождений нецелесообразно производить разнос борта. В таких условиях более эффективным решением является ликвидация транспортных берм с увеличением результирующего угла наклона борта карьера и переходом на циклично-поточную технологию транспортирования горной массы.

Разработанная методика расчета параметров глубинной зоны месторождения позволяет более точно рассчитывать контурный и текущий коэффициенты вскрыши, а также корректировать их путем управления параметрами транспортных схем и перегрузки. Установлено, что параметры глубинной зоны месторождения, а именно объем и площадь поперечного сечения, зависят от ширины транспортных площадок и габаритных размеров транспортных средств и перегрузочных пунктов.

При вскрытии глубоких горизонтов железорудных карьеров, с точки зрения уменьшения потребления автосамосвалами дизельного топлива, предлагается внедрение транспортной схемы со сквозным фронтом работ и сквозным проездом автосамосвалов при разгрузке их в бункер. При этом расход топлива за один транспортный цикл сократится на 2 литра. Таким образом, при годовой производительности 10 млн. т экономия дизельного топлива составит 150 тыс. л.

Установленные зависимости затрат на эксплуатацию крутонаклонных подъемников от высоты подъема указывают на рост капитальных и текущих затрат с увеличением расстояния транспортирования горной массы, а также на снижение капитальных затрат с возрастанием угла наклона за счет уменьшения металлоемкости конструкции.

Разделение грузопотоков руды и пород скальной вскрыши позволит нивелировать необходимость вскрытия рудного тела в каждом крутонаклонном этапе отработки последовательно сверху вниз и уменьшить горно-капитальные затраты на сооружение и поддержание дополнительных

вскрывающих выработок при переходе на циклично-поточную технологию с использованием крутонаклонных конвейеров. При этом оптимальная глубина ввода железнодорожного транспорта составит 149 м, а конвейерного подъемника для транспортирования руды – 344 м.

4 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕНСИВНОГО ПРОВЕДЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ КАРЬЕРОВ ПРИ ЗНАЧИТЕЛЬНОМ ОТСТАВАНИИ ВСКРЫШНЫХ РАБОТ

4.1 Уровень технологического развития горнотранспортной системы отечественных карьеров

В следствие более низких, по сравнению с развитыми странами, темпов технологического развития на многих отечественных карьерах [75] при разработке как наклонных, так и крутопадающих месторождений увеличиваются объемы отставания вскрышных работ. Уменьшение вскрываемых запасов полезных ископаемых затрудняет поддержание производственной мощности на достигнутом уровне. Переход на передовую циклично-поточную технологию горных работ в глубоких карьерах без создания условий для интенсивного развития рабочей зоны на крутых бортах не позволит решить проблему ликвидации отставания вскрышных работ [3].

На крупных действующих карьерах Казахстана (компании по добыче железной руды ССГПО, угольные «Богатырь», «Восточный», «Северный» Экибастуза и другие), введенных в эксплуатацию в последние годы (медные «Нургазган», «Бозшаколь», «Актогай») и потенциальных (Ломоносовское железа) ориентируются на приобретение мощных технологических комплексов на базе высокопроизводительных карьерных экскаваторов. Это объясняется неоспоримыми преимуществами применения оборудования такого класса. Однако на отечественных предприятиях, также, как и в России, Украине, складывается противоположная ситуация – с ростом вместимости ковша удельная производительность экскаваторов снижается.

Применение в развитых странах мощных экскаваторов позволяет вести подготовку вскрываемых запасов полезного ископаемого этапами по 2-3 года, а не ежемесячно как сегодня на карьерах стран СНГ. В результате в зарубежной практике за счет повышения ритмичности горного производства упрощается технология вскрышных и добычных работ и их взаимное влияние друг на друга. Производительность зарубежных экскаваторов составляет 300-350 тыс. м³/м³ ковша, тогда как на отечественных карьерах не превышает 120-140 тыс. м³/м³ ковша (меньше в 2,5 раза) [75].

Выполненные в НАО «КазНИТУ им. К.И. Сатпаева» исследования и разработки при новом порядке формирования рабочих зон [26, 40, 59] показывают, что достичь эффективную эксплуатацию отечественных крупных карьеров можно в первую очередь за счет уменьшения размеров рабочей зоны через концентрацию горных работ. Существующая практика создания временно нерабочих бортов (ВНБ) для регулирования достаточных объемов выемки вскрышных пород значительно усложняет организацию горных работ, особенно при разработке крутопадающих месторождений округлой (овальной) формы, требует создания ограждающих сооружений для обеспечения безопасных условий работы оборудования и людей от случайно

падающих с высоких откосов и разделяющихся при взрывах кусков породы и имеет свои изъяны в рыночных условиях при частом изменении спроса и цен на товарную продукцию [18, 81].

Колебания спроса на минеральное сырье зачастую срывает сроки консервации и расконсервации отдельных участков вскрышной зоны и затрудняет поддержание необходимых размеров действующей части рабочей зоны глубоких карьеров, необходимой для получения запланированного объема добычи полезного ископаемого и безопасной реализации принятого календарного графика горных работ [1]. Практика разработки глубоких карьеров показывает, что управление рабочей зоной как в период консервации и формирования ВНБ, так и при расконсервации требует решения многих сложных организационно-технических задач, создания новых способов и приемов ведения горных работ в стесненных условиях [18]. Анализ проектных и фактических параметров систем разработки на Криворожских карьерах [19] показывает, что ширина рабочих площадок составляет 30-40 м вместо 60-80 м по проектам. Обеспеченность готовыми к выемке запасами – 0,8-1,6 месяцев вместо 2,5 по нормам. Размеры ВНБ значительно превышают проектные. Интенсификация горных работ на таких участках возможна только одним путем – поэтапным их перемещением в новые положения с параметрами, обеспечивающими проектную мощность карьера по руде.

На основе тенденций развития горнотранспортных систем зарубежных стран для условий разрабатываемых и перспективных месторождений Казахстана выполнены предпроектные проработки по реализации промышленно безопасного и интенсивного порядка развития рабочих зон вдоль крутых бортов без формирования временно нерабочих бортов на постоянной основе.

4.2 Апробация нового порядка формирования рабочей зоны при углубочной кольцевой системе разработки с использованием мощных экскаваторно-автомобильных комплексов

По согласованию с ТОО «Ломоносовское» исследования были выполнены на каркасной модели потенциального Ломоносовского месторождения железных руд. Разработана методология создания динамической модели реализации инновационного развития рабочих зон после перехода на отработку высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов при ориентации фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов крутых бортов карьера [62].

На основе анализа технологических решений по регулированию объемов вскрышных работ при поэтапной разработке крутопадающих рудных залежей предложены новые решения по формированию рабочей зоны относительно крутых бортов на постоянной основе на весь срок существования карьера. Разграничение и в какой-то степени независимое

развитие рабочей зоны относительно рабочего борта сверху вниз достигается концентрацией горных работ при использовании мощных ЭАК. Такое перемещение рабочей зоны по периметру бортов карьера позволяет оставлять на них только транспортные и предохранительные бермы, что через увеличение ее наклона обеспечит на большей части этапов отработки значения текущих коэффициентов вскрыши, близких к среднему. При выборе этих подходов к ведению горных работ на карьерах овальной формы учитывались известные из теории и практики элементы поэтапного развития глубоких карьеров крутыми слоями, развития бортов карьера поперечными и диагональными заходками, отработки вскрышных уступов высокими уступами на вытянутых карьерных полях, снижающих усредненный эксплуатационный коэффициент вскрыши в основной период разработки крутопадающего месторождения [50].

Выполненное 3D моделирование поэтапного развития горных работ на крутопадающих месторождениях округлой формы с использованием уравнений сплайна позволило вплотную подойти к созданию 3D модели инновационного развития рабочих зон на карьерах овальной формы. Использование разработанной методологии проектирования предлагаемых технологий на базе цифровых моделей месторождений и интегрированных горно-геологических информационных комплексов обеспечило создание динамической модели реализации нового порядка формирования рабочей зоны на крутых бортах карьеров овальной формы. С его применением доказана возможность отдельной поочередной отработки сближенных крутопадающих рудных залежей Ломоносовского месторождения с производственной мощностью 16 млн. тонн руды в год. На рисунке 4.1 в Surpac показана каркасная модель Ломоносовского месторождения железных руд с полученными нами предельными контурами карьера.

Контуры карьера к моменту освоения производственной мощности на Ломоносовском карьере при отработке экскаваторами верхних и нижних частей уступов по новым технологиям приведены на рисунках 4.2 и 4.3 соответственно. Рабочая зона первоначально из 1-2-х, а затем 3-х уступов высотой до 30 м перемещается по периметру крутых бортов. При таком развитии рабочей зоны в границах крутых бортов экскаваторы эксплуатируются на широких площадках, равных ширине поперечной панели, уменьшается подвалка откосов нижних уступов после взрывов за счет регулирования направления отбойки при многорядном короткозамедленном взрывании скважинных зарядов.

Предлагаемое развитие рабочих зон обеспечит концентрацию горных работ на постоянной основе при минимальных требуемых объемах выемки вскрышных пород без ВНБ и ежемесячного регулирования вскрываемых запасов руды непосредственно в карьере. В этом случае как таковая в общепринятом понимании реконструкция горнотранспортной системы глубоких карьеров при разработке крутопадающих месторождений округлой (овальной) формы не потребуется. Лишь при изменении типа и структуры

основного оборудования необходимо будет выполнять корректировку горнотранспортной части проекта.

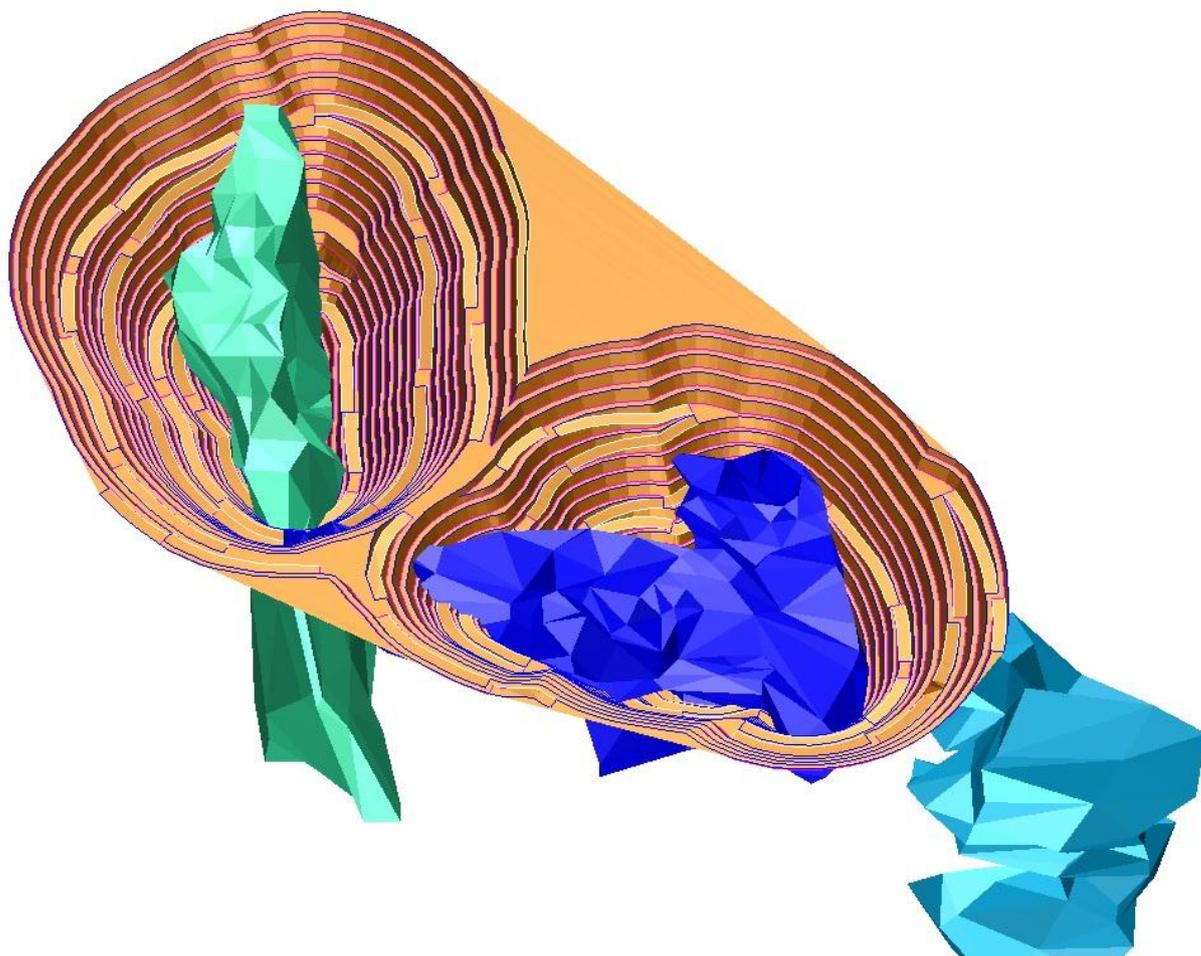


Рисунок 4.1 - Каркасная модель Ломоносовского месторождения железных руд с предельными контурами карьера

В качестве выемочно-погрузочной машины рассмотрено использование экскаваторов ЭКГ-32Г нового поколения, а для транспортирования руды и вскрышных пород – автосамосвалы БелАЗ грузоподъемностью 190 т. Использование мощных экскаваторов позволит создавать достаточные запасы добытой руды на дробильно-обоганительной фабрике. Тогда действительно нет необходимости соблюдать классические нормативы по вскрытым запасам руды. В каждом вновь прирезаемых технологических слоях (этапах отработки), равных ширине поперечной панели, при их последовательной отработке сверху вниз от дневной поверхности до вновь сооружаемых по дну карьера разрезных котлованов будет вскрываться достаточное количество руды для выполнения годовых программ по выдерживанию проектной производственной мощности по ее добыче при минимальных объемах вскрышных работ.

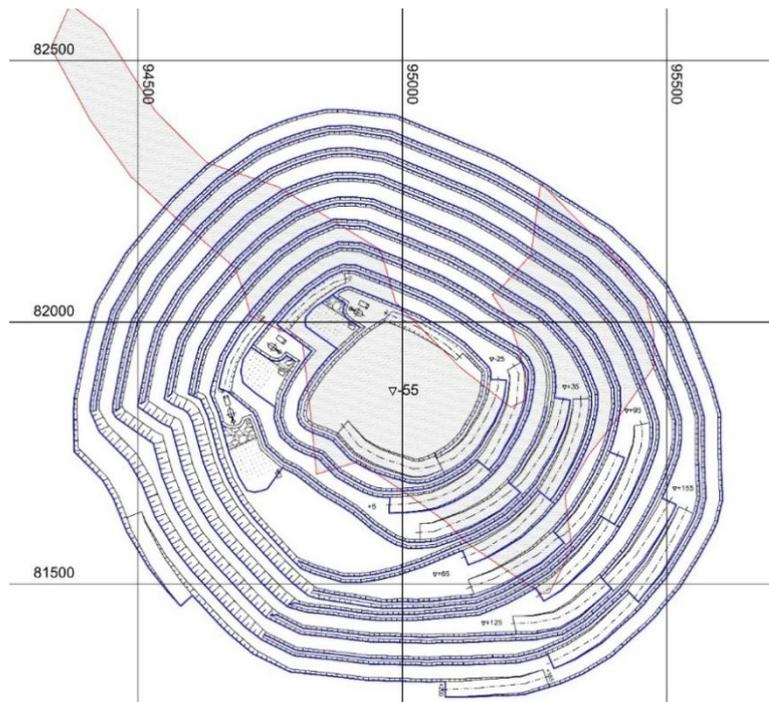


Рисунок 4.2 - Схема отработки экскаваторами верхних частей уступов на Ломоносовском карьере

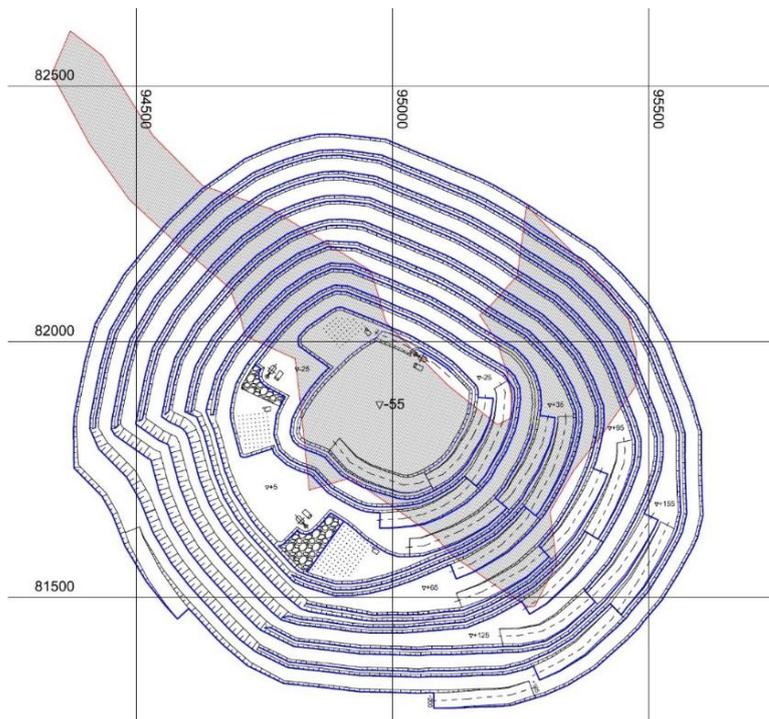
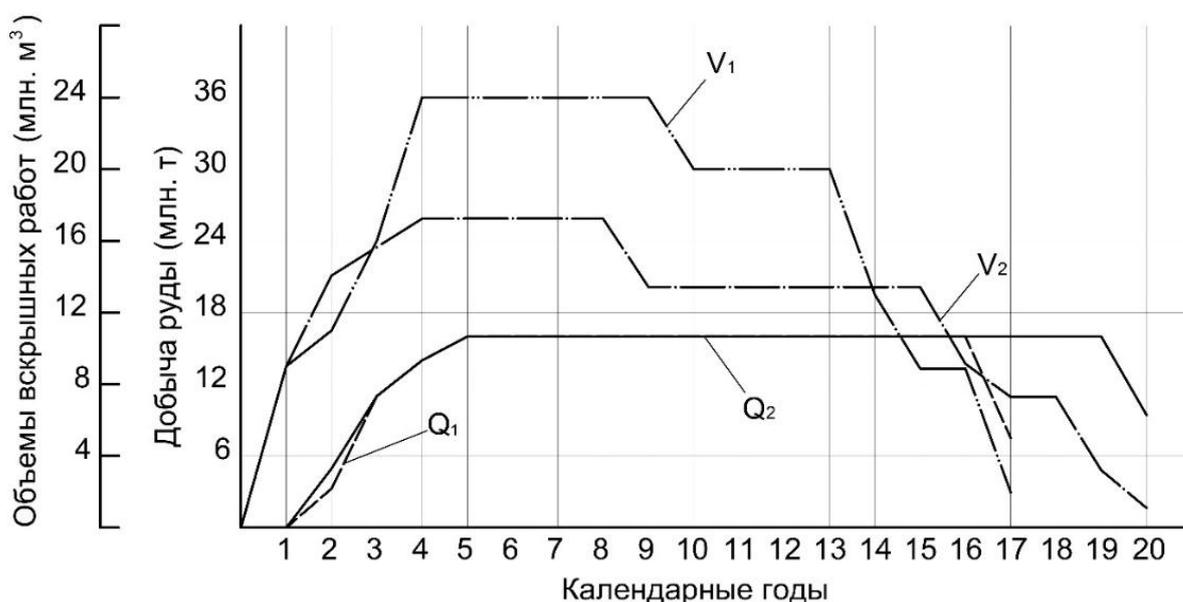


Рисунок 4.3 - Схема отработки экскаваторами нижних частей уступов на Ломоносовском карьере

По сравнению с лучшими зарубежными аналогами такое же количество руды вскрывается действительно при значительно меньших объемах вскрышных работ [50].

К моменту окончания строительства Ломоносовского карьера по предлагаемой технологии развития рабочих зон можно уменьшить объем горно-строительных работ в 2,5 раза (меньше на 38,3 млн. м³) по сравнению с технологией отработки уступов продольными панелями. Срок строительства карьера уменьшается на 3,8 года (с 6,3 до 2,5 лет). В период освоения производственной мощности объем эксплуатационных вскрышных работ снижается почти в 2 раза (меньше на 98,5 млн. м³). Срок освоения производственной мощности сокращается на 3,3 года (с 7,9 до 4,6 лет). Результаты исследований приняты ТОО «Ломоносовское» для передачи подрядной организации по их использованию при выполнении проекта производства работ после принятия решения по инвестированию разработки потенциального месторождения (рис.4.4).



Q_1, Q_2 - производительность по руде соответственно на Северо-Западном и Центральном участках; V_1, V_2 - производительность по вскрыше соответственно на Северо-Западном и Центральном участках

Рисунок 4.4 – Календарный график горных работ при отдельной отработке участков Ломоносовского месторождения

4.3 Апробация нового порядка формирования рабочих зон при углубочной однобортной продольной системе разработки

После перехода на комбинированный автомобильно-конвейерный транспорт для отработки нижней части вскрышной зоны на карьере «Восточный» не было достигнуто соответствие интенсивности производства вскрышных работ поточной технологии добычи угля. Отработка вскрышных уступов в нижней части вскрышной зоны продольными панелями по проектной схеме при узких рабочих площадках не позволяет эффективно

использовать ЭАК. Отставание вскрышных работ ограничило производственную мощность по углю. Фактическое положение примыкающего к полю карьера «Богатырь» левого фланга карьера «Восточный» (рисунок 4.4) показывает, что в этой зоне из-за узких рабочих площадок и небольшой высоте вскрышных уступов (10-12 м) приходится формировать большое количество съездов. Предлагаемый порядок формирования поперечных панелей с отработкой нижней части вскрышной зоны высокими уступами (высотой 30 м) с двух уровней стояния экскаваторов был приведен на рисунке 1.1.

Рекомендуемая схема отработки верхних частей уступов ЭАК с сооружением временных вскрывающих выработок на флангах карьерного поля приведена на рисунке 4.5, а схема перехода на предлагаемую технологию их использования в стесненных условиях крутого борта, где возникают проблемы размещения устройств для дробления горных пород, особенно модульного поверхностного исполнения, и маневрирования груженых самосвалов в пунктах перегрузки (рисунок 4.6). Существенным недостатком эксплуатируемых пунктов перегрузки с конвейера в железнодорожный транспорт является значительная ширина погрузочно-транспортных площадок, что увеличивает объемы разноса бортов карьеров [84]. Поскольку дробильно-перегрузочный пункт (ДПП) первой линии комплекса ЦПТ примыкает к границе поля карьера «Богатырь», сооружение первой ниши для перехода на отработку уступов поперечными панелями предложено реализовать на левом фланге карьера «Восточный».

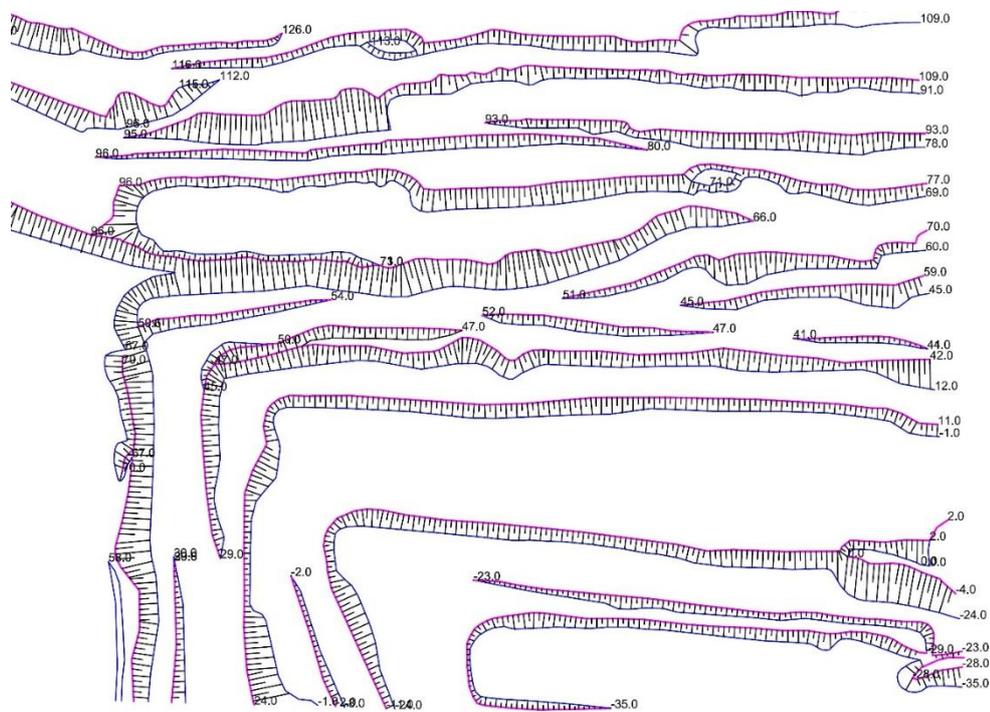
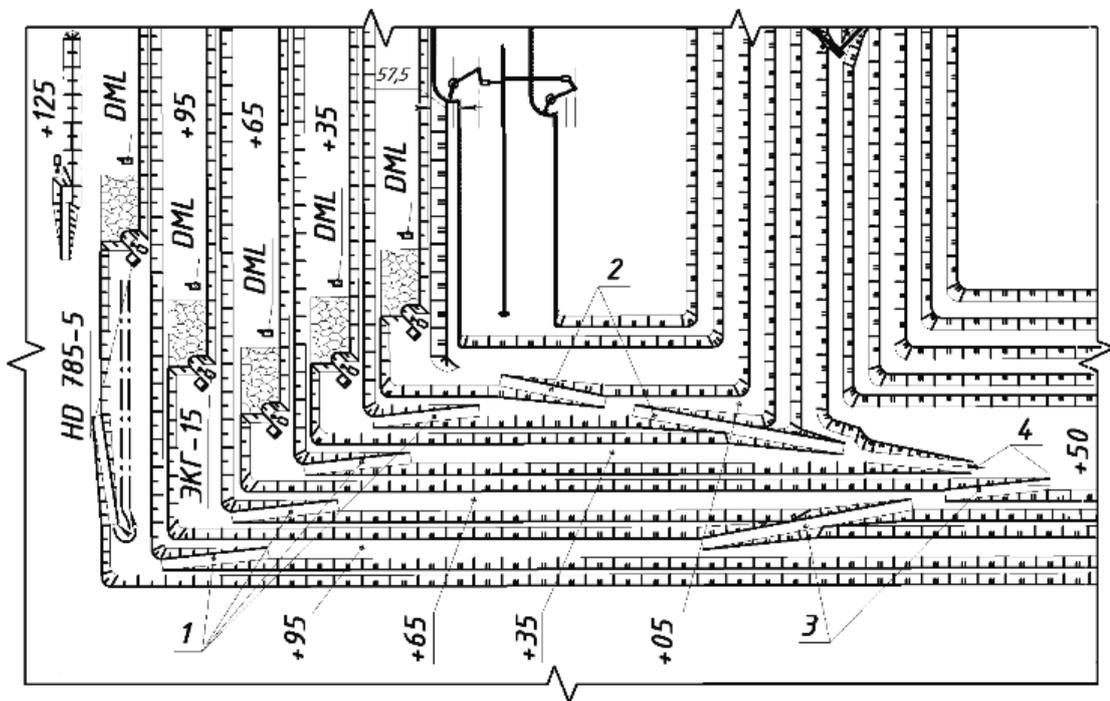


Рисунок 4.5 – Положение горных работ на левом фланге карьера «Восточный»



1 – временные автосъезды; 2, 3 – постоянные автосъезды соответственно ниже и выше горизонта размещения ДПП; 4 – направление грузопотоков автовскрыши к ДПП

Рисунок 4.6 - Схема отработки верхних частей уступов поперечными панелями

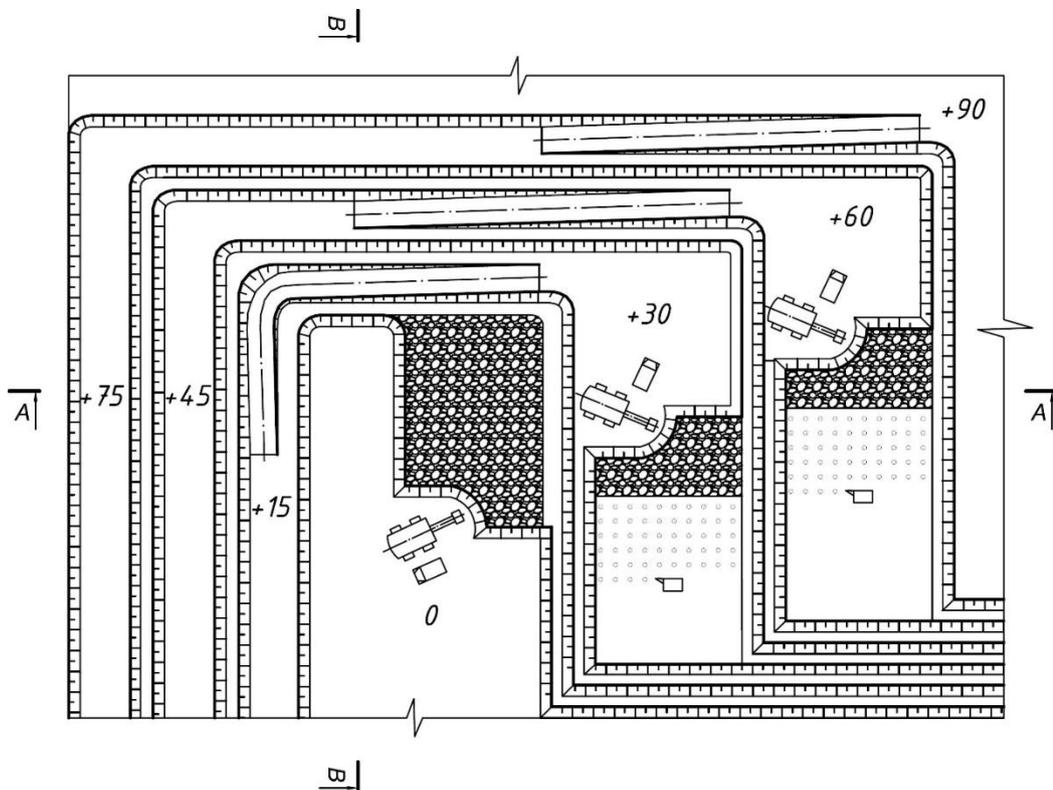


Рисунок 4.7 - Завершение проходки ниши для перехода на предлагаемую технологию использования ЭАК

При отсутствии рабочих площадок нормальной ширины формирование ниши и одной, а потом и второй рабочих зон вдоль крутого борта с переходом на отработку высоких уступов поперечными панелями позволит в кратчайшие сроки выйти на проектные объемы добычи угля. Дополнительный объем горно-капитальных работ на формирование ниши компенсируется значительным снижением текущих объемов вскрышных работ.

Полная схема производства горных работ на момент внедрения ЦПТ в нижней части вскрышной зоны на карьере «Восточный» в разрезе и плане приведены на рисунках 4.7 и 4.8 соответственно. Эти чертежи были подготовлены на период пуска в эксплуатацию первой линии комплекса ЦПТ на вскрышных работах в 2010 году. Глубина карьера «Восточный» в этот период составляла 225 м. Между зонами эксплуатации ЭЖК и ЭАК можно было организовать концентрационный горизонт для перегрузки части автовскрыши в средства железнодорожного транспорта [80]. При подготовке рисунков 4.7 и 4.8 учитывался запуск в эксплуатацию второй линии комплекса ЦПТ на вскрышных работах производительностью 20 млн. м³ вскрышных пород в год.

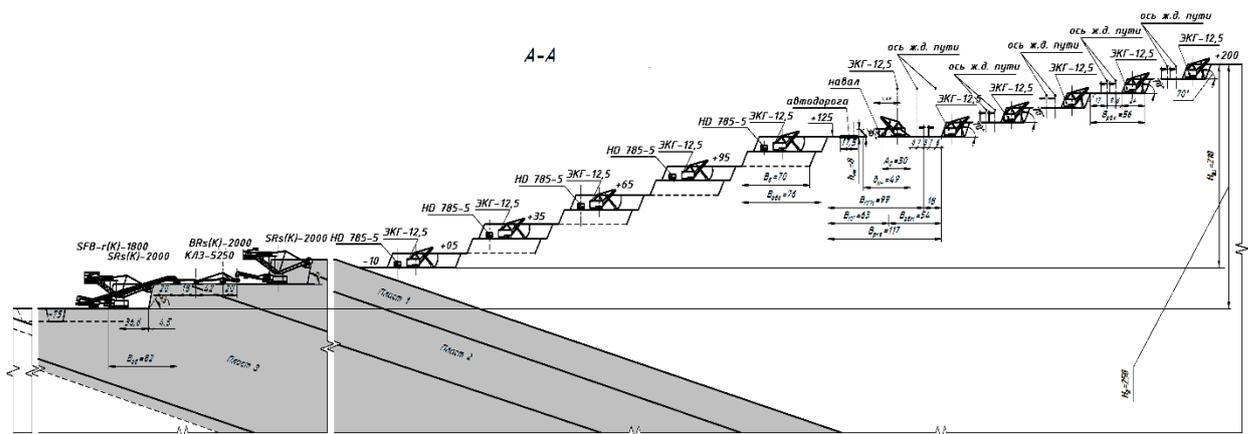


Рисунок 4.8 - Разрез карьера «Восточный» после перехода на отработку высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов в нижней части вскрышной зоны

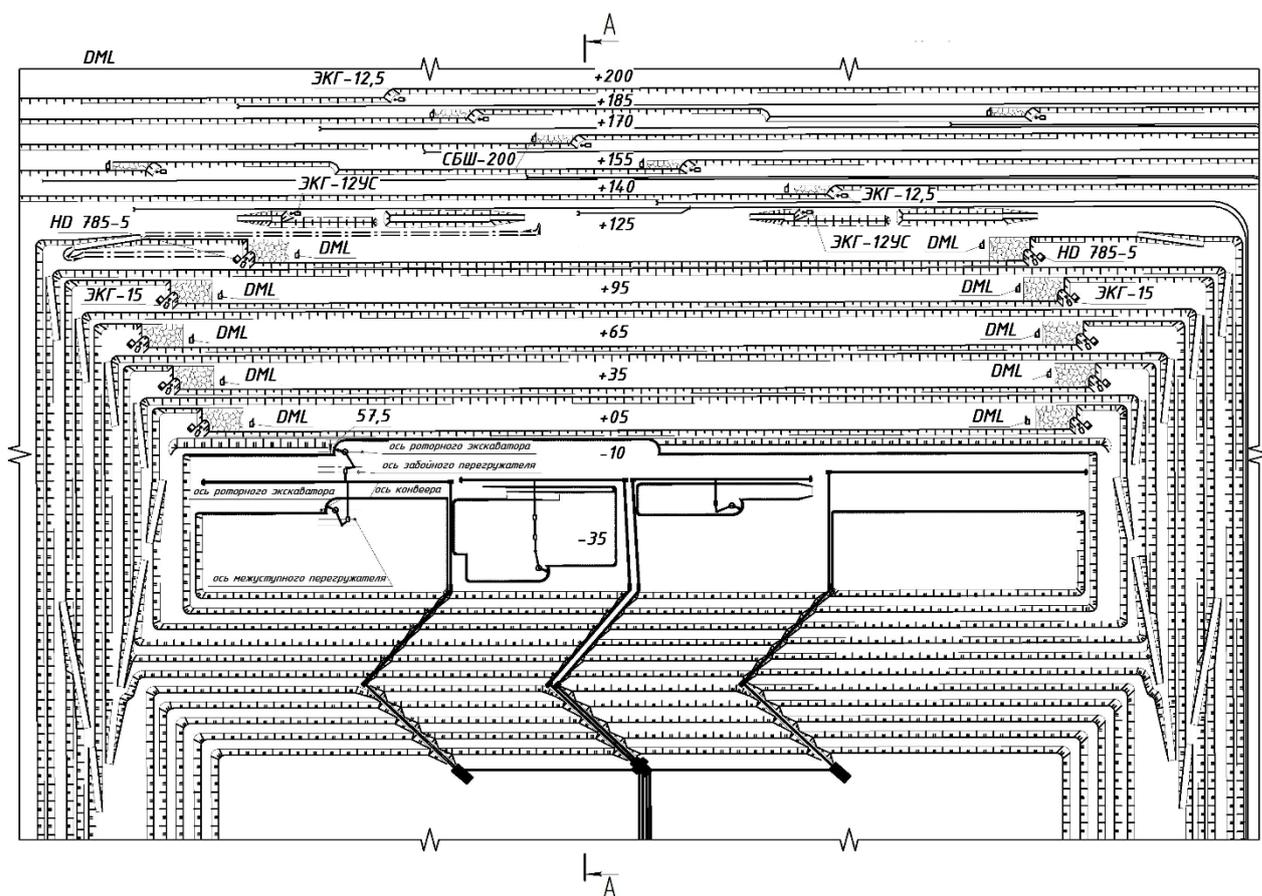
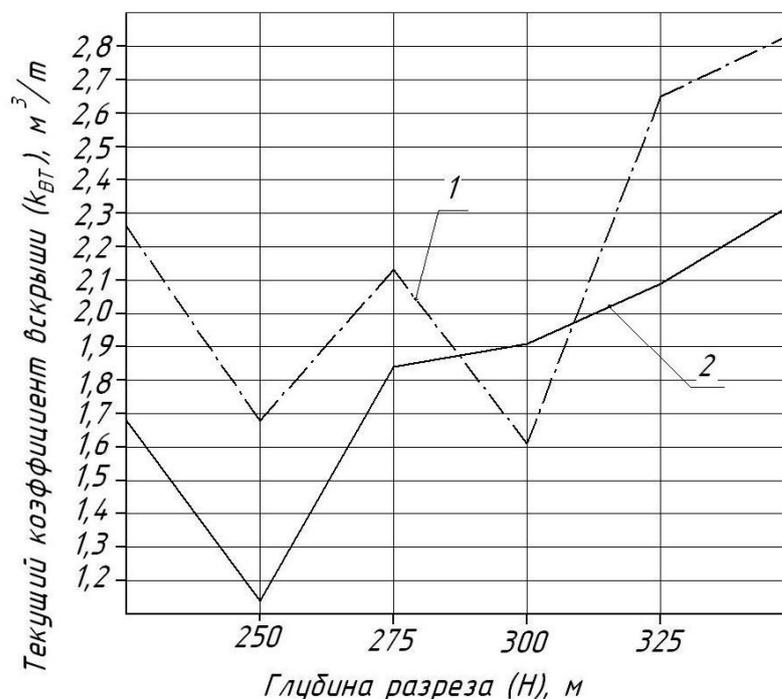


Рисунок 4.9 - План карьера «Восточный» после перехода на отработку нижней части вскрышной зоны поперечными панелями с обоих флангов

Реализация предлагаемой технологии отработки нижней части вскрышной зоны ЭАК (в верхней вскрышной зоне эксплуатируются экскаваторно-железнодорожные комплексы) осуществляется на основе разработанного алгоритма оптимизации положения рабочего борта по этапам отработки с учетом выдерживания необходимого соотношения низкосольного и высокосольного угля во вскрываемых его запасах. Он учитывает разную высоту добычных и вскрышных уступов, необходимый минимальный объем вскрышных работ для вскрытия очередных поэтапных запасов угля через установление оптимального значения ширины поперечных панелей и позволяет по условию проходки очередной разрезной траншеи с изменяющейся шириной определить горизонт на контакте «вскрыша-уголь», после которого начинаются вскрышные работы на следующем этапе отработки.

Апробация предложенного метода оптимизации положения рабочего борта показывает, что по предлагаемой схеме развития вскрышной зоны объем вскрышных работ до глубины карьера 350 м по сравнению с проектной схемой меньше на 209 млн. м³, при этом значение среднеэксплуатационного коэффициента вскрыши снижается с 2,4 до 1,75 м³/т (27,1%).

По разработанной схеме нет скачкообразных изменений значений текущего коэффициента вскрыши (рисунок 4.9). Здесь он изменяется равномерно. После ликвидации отставания по вскрышным работам его значения плавно увеличиваются с погружением горных работ.



1 и 2 – изменение текущего коэффициента вскрыши соответственно по проектной и предлагаемой схемам отработки нижней части вскрышной зоны

Рисунок 4.10 - К обоснованию предлагаемого варианта развития вскрышной зоны на карьере «Восточный»

Анализ календарного графика горных работ показывает, что значения текущего коэффициента вскрыши изменяются от 1,57 до 1,87 м³/т за 16 лет при значении среднеэксплуатационного коэффициента вскрыши 1,75 м³/т. Превышение максимального значения текущего коэффициента вскрыши над среднеэксплуатационным коэффициентом вскрыши составляет всего 6,4%, т.е. достигается оптимальный режим горных работ.

Неоспоримым преимуществом предлагаемой технологии отработки нижней части вскрышной зоны с использованием ЭАК является минимальное сокращение длины добычного фронта работ с углубкой карьера за счет уменьшения количества транспортных берм на флангах карьерного поля.

4.4 Апробация нового порядка формирования рабочих зон при углубочной двухбортной продольной системе разработки

Карьер «Экибастузский» ТОО «Ангренсор Энерго» разрабатывает крутопадающую часть Экибастузской мульды в границах эксплуатационного участка 11. Система разработки – транспортная двухбортная продольная углубочная, позволяющая одновременно вскрывать все угольные пласты данного месторождения – низкочольные 1, 2 и высокочольные 3 и частично 4. Проектная производственная мощность карьера «Экибастузский» составляет 5,5 млн. т угля в год. Относительно небольшая мощность угольных пластов и значительное сокращение длины добычного фронта работ в границах карьерного поля участка 11 с каждым годом затрудняют выполнение нарастающих объемов вскрышных работ. Одним из путей сохранения конкурентоспособности ТОО «Ангренсор Энерго» на рынке экибастузских углей является повышение уровня технологического развития горнотранспортной системы карьера «Экибастузский» с переходом на новый порядок формирования рабочих зон вдоль крутых его бортов.

К концу июля 2016 года глубина карьера в центральной его части достигла 140 м. Перспективы эффективной дальнейшей эксплуатации карьера будут связаны с уменьшением текущих объемов вскрышных работ. Предпроектные проработки по адаптации в условиях разреза «Экибастузский» промышленно-безопасных и экономичных технологий отработки уступов высотой 20-24 м поперечными панелями шириной 18-20 м с двух уровней стояния экскаваторов и формирования рабочих зон вдоль крутых бортов при ориентации фронта работ их уступов перпендикулярно фронту работ уступов рабочих бортов направлены на ликвидацию отставания вскрышных работ с кратчайшие сроки, оптимизацию режима горных работ с обеспечением стабилизации производства вскрышных и добычных работ на постоянной основе и расширение границ эффективной открытой разработки до предельных глубин.

По предложенной технологии формирования рабочих зон вдоль крутых бортов карьера «Экибастузский» отработка верхних частей уступов высотой 10-12 м производится нижним черпанием гидравлическими экскаваторами с рабочим органом обратной мехлопаты, а нижних частей уступов – любым имеющимся на разрезе экскаватором с рабочим органом прямой мехлопаты (рисунок 4.10). Оптимизация режима горных работ достигается за счет переноса части объемов вскрышных работ на более поздние периоды их выемки и уменьшения в конечных контурах угольного карьера.

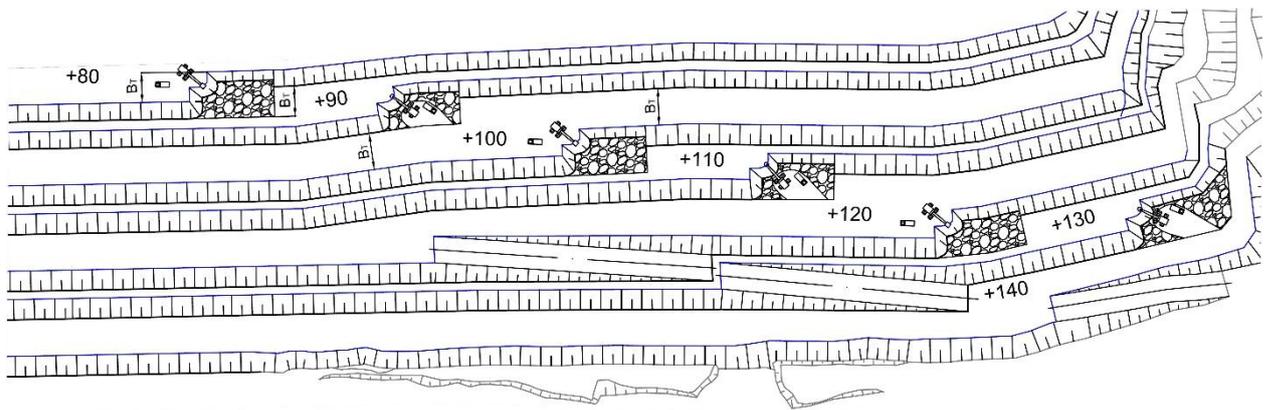


Рисунок 4.11 - Схема отработки уступов высотой 20-24 м поперечными панелями с использованием экскаваторов с рабочим органом обратной и прямой мехлопаты

Последовательность реализации рекомендуемых технологий горных работ в условиях карьера «Экибастузский» следующая. Вскрышные работы в верхней и частично, в средней частях, вскрышной зоны приостанавливаются. Они производятся в основном только в нижней части вскрышной зоны (рисунки 4.11, 4.12). Первоначально необходимо перейти на отработку высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаватора.

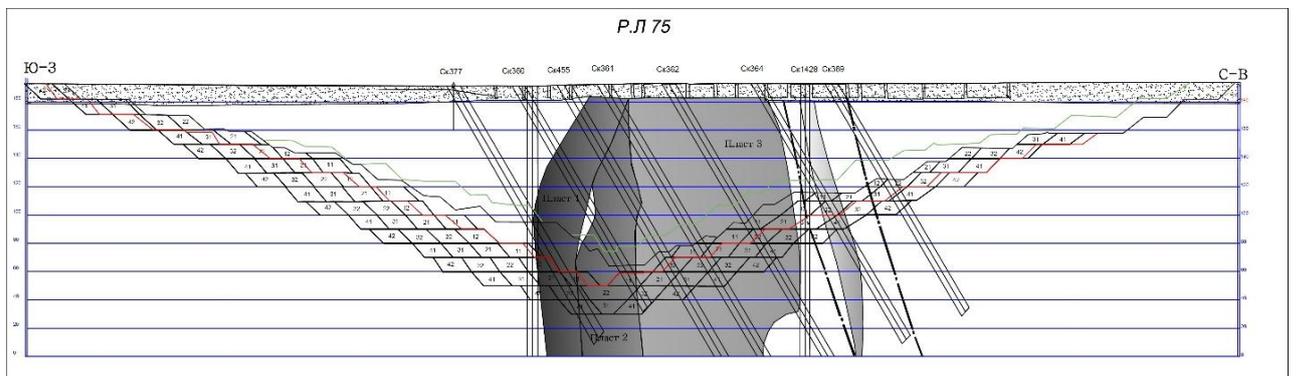


Рисунок 4.12 – Отстройка поперечных панелей на разведочной линии 75 его разносе

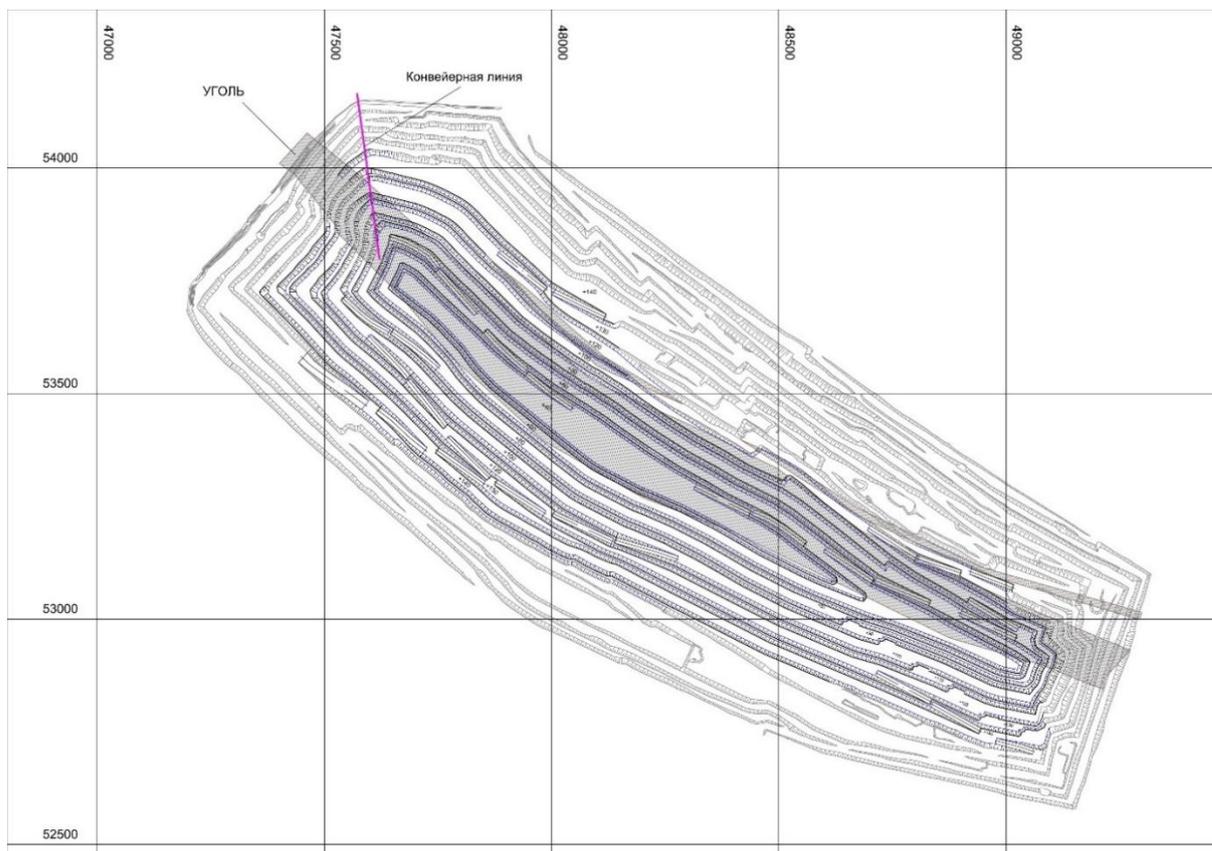


Рисунок 4.13 – План развития горных работ на карьере «Экибастузский»

Углы наклона крутых бортов не должны превышать предельно-допустимых по условию их устойчивости. По аналогии с расчетами ООО «НТЦ-Геотехнология», выполненными для аналогичного по условиям залегания участка 12 Экибастузского месторождения, для карьера «Экибастузский» устойчивые и конструктивные углы наклона его продольных бортов при коэффициенте запаса устойчивости $n = 1,5$ равны $29,5^{\circ}$ при глубине карьера 150 м и 25° при глубине карьера 200 м и более.

Выполненные расчеты показывают, что за 3 года объемы внешней вскрыши по сравнению с проектным графиком горных работ можно снизить на 8,043 млн. м³. Требуемая годовая производительность разреза по внешней вскрыше в этот период изменяется от 4,48 млн. м³ в первом году, до 10,356 млн. м³ во втором и 16,515 млн. м³ в третьем. С учетом отставания вскрышных работ переход на предлагаемую технологию развития рабочих зон в течение 2016-2018гг. позволит уменьшить эти объемы на 14,28 млн. м³.

Приведенная экономия от уменьшения объемов вскрышных работ с учетом их отставания составит 1463,93 млн. тенге. Следовательно, затраты на реализацию предлагаемой технологии развития рабочих зон за счет оптимизации режима горных работ окупятся более чем в 14 раз.

На базе карьера «Экибастузский» при выполнении предпроектных проработок доказана техническая возможность и экономическая целесообразность перехода на отработку высоких уступов поперечными

панелями с двух уровней стояния экскаваторов при ориентации фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов крутых бортов.

Угол наклона рабочих бортов ограничивается параметрами обрабатываемых панелей и не превышает устойчивого их значения. При ориентации фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов рабочего борта конструктивный угол наклона последнего может достигать устойчивого его значения. В этом случае рабочая зона как бы скользит вдоль крутого рабочего борта. Увеличение угла наклона рабочего борта достигается при оставлении между уступами только транспортных берм с сооружением в определенных местах скользящих съездов для технологического автотранспорта. Между частями высокого уступа оставляют предохранительные бермы.

Наибольшего значения конструктивный угол наклона рабочего борта достигает при ширине панелей, равных ширине транспортных берм. Однако в этом случае ограничиваются вскрываемые запасы полезного ископаемого. В основном минимальная ширина панелей применяется при обработке вытянутых карьерных полей по двухбортной углубочной системе разработки с небольшой горизонтальной мощностью залежи полезного ископаемого и на месторождениях округлой формы с ограниченными размерами в плане при малой производственной мощности. При этом используются ЭАК с относительно небольшой производительностью, что предопределяет замену традиционных автосамосвалов на шарнирно-сочлененные автосамосвалы грузоподъемностью до 50 т, при которых достигается увеличение продольного угла наклона съездов на крутом борту до 15-18 градусов (больше в 3,3-4 раза). Следует учесть, что предлагаемую конструкцию развития рабочих зон вдоль крутых бортов можно безопасно применять только в коренных крепких породах, а наносы обрабатывать невысокими уступами с оставлением между ними рабочих площадок.

4.5 Выводы по главе

1) На базе действующих и перспективных карьеров Казахстана при выполнении предпроектных проработок доказана техническая возможность и экономическая целесообразность перехода на новый порядок развития рабочих зон;

2) Предложенный порядок развития рабочей зоны при открытой разработке крутопадающих месторождений округлой (овальной) формы обеспечит концентрацию горных работ на постоянной основе при минимальных требуемых объемах выемки вскрышных пород без формирования временно нерабочих бортов (ВНБ) и ежемесячного регулирования вскрытых запасов руды непосредственно в карьере. В этом случае как таковая в общепринятом понимании реконструкция

горнотранспортной системы глубоких карьеров при разработке крутопадающих месторождений округлой (овальной) формы не потребуется;

3) В период реконструкции горнотранспортной системы, к примеру, на карьере «Экибастузский» переход на инновационную технологию развития рабочих зон в границах крепких коренных пород и угля по сравнению с проектом приводит к уменьшению требуемых объемов вскрышных работ в период 2016-2018 годы (из них 2 года ликвидации отставания вскрышных работ) на 11,336 млн. м³ (меньше на 44%), а с учетом отставания вскрышных работ – на 17,574 млн. м³ (меньше на 55%). Накопившееся по сравнению с проектом отставание вскрышных работ в объеме 6,238 млн. м³ потребовало бы ТОО «Ангренсор Энерго» привлечь дополнительные ресурсы на поддержание производственной мощности по добыче угля в объеме 5,5 млн. т в год. Приведенная экономия эксплуатационных затрат за счет уменьшения текущих объемов вскрышных работ на карьере «Экибастузский» в период 2016-2018 годы при полном переходе на инновационную технологию развития рабочих зон за вычетом стоимости затрат на науку и разработку нового проекта предприятия (в размере 100 млн. тенге в связи с нововведениями, приводящими к изменению главных параметров карьера, календарного графика горных работ и системы разработки) составит 1,48 млрд. тенге.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткие выводы по результатам диссертационных исследований:

1. Разработан алгоритм оптимизации значений текущего коэффициента вскрыши через оптимизацию объемов вскрыши и руды по этапам отработки. Универсальность методики обеспечивает решение задачи нелинейного оптимального управления методом динамического программирования Беллмана. На каждом шаге условной оптимизации доказано выполнение достаточного условия оптимальности в стационарных точках целевой функции. При этом на каждом шаге итераций оптимальные решения задачи не покидают область допустимых значений. В результате получен упрощенный для проектирования динамической модели карьера алгоритм оптимизации графика режима горных работ.

2. Разработана методология проектирования реконструкции карьеров для вытянутых и округлых карьерных полей, включающая способы перехода на отработку высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов и формирования фронта работ уступов рабочих зон перпендикулярно фронту работ уступов крутых бортов в период ее проведения и математические 3D модели установления положения поэтапных их контуров в привязке к цифровой модели месторождений через оптимизацию объемов вскрышных пород и полезного ископаемого;

3. Для округлых карьерных полей завершили создание 3D модели поэтапного развития контуров карьера по новым технологиям. Через уравнения сплайнов вывели расчетные формулы оптимального значения радиусов боковых поверхностей контуров этапов отработки в зависимости от конфигурации рудной залежи. В 3D модели поэтапных контуров карьера учитываются конфигурация рудного тела и наклон бортов карьера за счет применения по горизонтальным сечениям одномерного сплайна второго порядка, а при описании боковых поверхностей рудного тела - двумерного сплайна;

4. Для округлых карьерных полей получены 3D модели поэтапного развития контуров карьера по новым технологиям. Объемный контур полезного ископаемого интерполировался эллиптическим гиперболоидом овальной формы. Построенная в работе задача оптимального управления в конце упирается к решению кубического уравнения нелинейной алгебры. В работе доказывается, что кубическое уравнение имеет единственное решение. Данный факт косвенным образом доказывает правильность выбранного способа решения изучаемой задачи;

5. Предлагаемый порядок развития рабочих зон вдоль крутых бортов при разработке крутопадающих месторождений округлой (овальной) формы обеспечит концентрацию горных работ на постоянной основе при минимальных требуемых объемах выемки вскрышных пород без ВНБ и ежемесячного регулирования вскрываемых запасов руды непосредственно в карьере. В этом случае как таковая в общепринятом понимании

реконструкция горнотранспортной системы глубоких карьеров при разработке крутопадающих месторождений округлой (овальной) формы и переходе с одного этапа отработки на другой не потребуются;

6. Принципиальное отличие разработанной технологии от существующих аналогов состоит в отказе от формирования ВНБ при открытой разработке крутопадающих месторождений для уменьшения текущих объемов вскрышных работ и сооружения конвейерных подъемников в стационарном положении при переходе на комбинированные виды транспорта. При этом минимизация объемов вскрышных работ достигается обособленным развитием рабочих зон вдоль крутых бортов (инновационные патенты РК № 26485 от 14.12.2012г. и 29038 от 15.10.2014г.), а сооружение конвейерных подъемников в стационарном положении - за счет проходки опережающих разрезных траншей до конечного контура карьера. В этом случае даже при тупиковом развитии фронта работ обеспечивается двухсторонний подъезд автосамосвалов к забоям экскаваторов за счет ведения горных работ в рабочих зонах на широких площадках, равных ширине поперечных панелей. Рабочая зона и рабочий борт рассматриваются в какой-то степени обособленно, но в тесной взаимосвязи между собой. Затраты на проходку опережающих разрезных траншей полностью компенсируются значительным уменьшением объемов вскрышных работ при обособленном развитии рабочих зон относительно крутых бортов.

7. На основании отстроенных поэтапных контуров крутонаклонных слоев до конца открытой разработки проектных запасов Качарского месторождения выполнен горно-геометрический анализ и получены поэтапные объемы пород рыхлой и скальной вскрыши, общей вскрыши и руды. Наибольший поэтапный коэффициент вскрыши прослеживается на этапах 1 и 2 (8,9 и 8,7 т/т соответственно), что еще раз подчеркивает имеющее место отставания вскрышных работ. Только на этапе 3 появляются условия понизить горные работы с 475 м до 490 м, в связи с чем поэтапный коэффициент вскрыши, по сравнению с этапом 2, резко сокращается (меньше в 2,1 раза). На этапе 9 объемы пород рыхлой вскрыши уменьшаются, а этапе 11 при глубине карьера 625 м уже отсутствуют;

8. По фактически достигнутой в 2018 году производительности экскаваторов выполнен детальный анализ и получены графические и корреляционные зависимости их производительности от неплановых простоев.

При ширине поперечной панели в пределах 60-80 м исследуемой технологии отработки уступов скальной вскрыши и руды наиболее целесообразной является схема подачи автосамосвалов к экскаватору с петлевым разворотом и с одиночной установкой автосамосвала на погрузку. По сравнению с тупиковым разворотом автосамосвалов по используемой технологии отработки уступов продольными панелями переход на их отработку поперечными панелями с петлевым разворотом автосамосвалов на погрузку позволит увеличить производительность экскаваторов на 25-30%,

что наряду с уменьшением разноса бортов карьера компенсирует интенсивность вскрытия рудной залежи сверху вниз в границах крутонаклонных слоев;

9. Трансформация результатов горно-геометрического анализа при реализации технологии отработки уступов по породам скальной вскрыши и руды поперечными панелями в крутонаклонных слоях единым карьером позволила получить календарный график производства горных работ. В период 2020-2022 годы в границах этапов 1 и 2 ежегодная производительность Качарского карьера по руде принята равной 15 млн. т. Текущий коэффициент вскрыши в этот период составит 8,9, 8,76 и 8,7 т/т соответственно. Для его уменьшения относительно имеющего место отставания вскрышных работ почти на 25% часть объемов пород рыхлой вскрыши перенесли на этап 3. В этих 25%-ах учтен переход на отработку пород скальной вскрыши поперечными панелями в крутонаклонных слоях.

Двукратное уменьшение объемов скальной вскрыши в 2023 году позволит повысить добычу руды на 30% и освоить в 2025 году принятую в проекте производственную мощность Качарского карьера в 24 млн. т.

10. Предложена технология использования драглайнов в комплексе с железнодорожным транспортом при выемке пород рыхлой вскрыши, наиболее адаптированная к технологии отработки уступов скальной вскрыши и руды поперечными панелями в крутонаклонных слоях;

11. На основе обобщения результатов исследований разработаны рекомендации по реализации технологии отработки пород скальной вскрыши и руды в крутонаклонных слоях поперечными панелями (4.6).

12. Разработан алгоритм оптимизации значений текущего коэффициента вскрыши через оптимизацию объемов вскрыши и руды по этапам отработки. Универсальность методики обеспечивает решение задачи нелинейного оптимального управления методом динамического программирования Беллмана. На каждом шаге условной оптимизации доказано выполнение достаточного условия оптимальности в стационарных точках целевой функции. При этом на каждом шаге итераций оптимальные решения задачи не покидают область допустимых значений. В результате получен упрощенный для проектирования динамической модели карьера алгоритм оптимизации графика режима горных работ.

13. По предлагаемой технологии по сравнению с традиционной технологией горных работ в условиях карьера первой очереди на Ломоносовском месторождении железных руд можно уменьшить объем горно-строительных работ в 2,5 раза (меньше на 38,3 млн. м³). Срок строительства карьера уменьшается на 3,8 года (с 6,3 до 2,5 лет). В период освоения производственной мощности объем эксплуатационных вскрышных работ снижается почти в 2 раза (меньше на 98,5 млн. м³). Срок освоения производственной мощности сокращается на 3,3 года (с 7,9 до 4,6 лет).

Оценка полноты решения поставленных задач.

Полнота решений поставленных задач оценивается новыми научно

обоснованными результатами рассмотренных фундаментальных и прикладных задач. Методология проектирования новых технологий горных работ разработана для общераспространенных однобортной и двухбортной продольных и кольцевой углубочных систем разработки. Впервые в одном алгоритме совмещены горно-геометрический анализ и трансформация его результатов в оптимальный календарный график горных работ. Решена задача нелинейного оптимального управления при оптимизации режима горных работ для округлых карьерных полей методом динамического программирования Беллмана. Создана 3D модель оптимизации поэтапных контуров карьера с использованием по горизонтальным сечениям одномерного сплайна второго порядка, а при описании боковых поверхностей рудного тела - двумерного сплайна. Установлено, что реализация исследуемых технологий на округлых карьерных полях с использованием мощных ЭАК позволит вести поэтапную разработку крутопадающих месторождений без ВНБ с повышением ритмичности производства вскрышных и добычных работ.

Оценка технико-экономической эффективности внедрения. Разработанная методология проектирования горнотранспортной системы карьеров при реализации предложенного порядка развития рабочих зон вдоль крутых бортов без формирования ВНБ значительно снизит затраты на вскрышные работы. Ее апробация на реальных объектах Казахстана позволила получить следующие результаты: при кольцевой системе разработки на перспективном Ломоносовском карьере к моменту полного развития горных работ объем вскрышных работ по сравнению с традиционной схемой меньше на 98,5 млн. м³; при продольной однобортной системе разработки на Восточном карьере при углубке карьера с 250 до 350 м за 16 лет объем вскрышных работ по сравнению с проектной схемой сокращается на 141,1 млн. м³, а среднеэксплуатационный коэффициент вскрыши - с 2,2 до 1,75 м³/т (меньше на 25,7%) при увеличении добычи товарной продукции (на 4 год на 8%, ..., на 9 год – на 25%); при продольной двухбортной системе разработки на Экибастузском карьере в период реконструкции за счет уменьшения требуемого объема вскрышных работ на 14,28 млн. м³ (по сравнению с проектом меньше на 31,3%) снизить приведенные эксплуатационные затраты, за вычетом стоимости НИОКР и проектирования, на 1,464 млрд. тенге.

Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области. Разработанная технология безопасного интенсивного развития рабочей зоны вдоль крутых бортов позволяет отказаться от формирования временно нерабочих бортов для уменьшения текущих объемов вскрышных работ в глубоких карьерах. При использовании мощных экскаваторно-автомобильных комплексов предложенный порядок развития рабочих зон в каждом из прирезаемых технологических этапов отработки обеспечит последовательное ритмичное производство вскрышных и добычных работ с созданием на промплощадке обогатительных фабрик

необходимого запаса добытой руды при значительно меньшем, по сравнению с известными аналогами ведущих стран мира, объеме текущей вскрыши и также упростит процесс усреднения руды до ее переработки. Учет конфигурации рудного тела и наклона ее бортов в созданной 3D модели поэтапных контуров карьера достигнут за счет применения по горизонтальным сечениям одномерного сплайна второго порядка, а при описании боковых поверхностей рудного тела - двумерного сплайна. Использование метода Беллмана для решения задачи нелинейного оптимального управления в динамике развития 3D модели поэтапных контуров карьера упростило алгоритм оптимизации режима горных работ. Впервые в одном алгоритме оптимизации поэтапных конструкций рабочих бортов совмещены и автоматизированы горно-геометрический анализ карьерных полей и трансформация его результатов в реально выполнимый оптимальный календарный график горных работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Синьчковский В.Н., Вокин В.Н., Теняшников В.А. Формирование рабочей зоны карьеров с учетом расконсервации временно нерабочих бортов // Журнал «Горный информационно-аналитический бюллетень. – М: МГГУ 2006. - № 3. – С. 306-307.
- 2 Молдабаев С.К., Султанбекова Ж.Ж., Абен Е. Эффективное использование мощных экскаваторно-автомобильных комплексов в глубоких карьерах // Инновации для бизнеса России и Казахстана [Электронный ресурс]: материалы Форума инновационных бизнес-лидеров Российской Федерации и Республики Казахстан. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Федер. ун-та, 2015. – С. 44-53
- 3 Проектирование карьеров. - Учебник / К.Н. Трубецкой, Г.Л. Краснянский, В.В. Хронин, В.С. Коваленко. – Москва: Высшая школа, 2009. – 694 с.
- 4 Дриженко А.Ю., Козенко Г.В., Рыкус А.А. Открытая разработка железных руд Украины: состояние и пути совершенствования. – Днепропетровск: НГУ, 2009. – 452 с
- 5 Ржевский В.В., Ревазов М.А. Принципы управления состоянием бортов глубоких карьеров // Горный журнал, 1975. - № 1. - С. 38-42.
- 6 Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. Проектирование карьеров. – М.: Изд-во НПК «ГЕОМОС Лимитед», 2003. - 168 с.
- 7 Фисенко Г.Л., Галустьян Э.Л. Глубоким карьерам - новую конструкцию бортов! // Горный журнал, 1975. - № 9. - С. 66-68.
- 8 Юматов Б.П., Бунин Ж.В., Папичев В.И. Методика выбора оптимального варианта разработки отдельных участков месторождения // Горный журнал, 1976. - № 7. - С. 19-22.
- 9 Кузнецов Н.Н. Двухстадийный разнос погашенных бортов карьеров // Горный журнал, 1979. - № 3. - С. 23-24.
- 10 Черепанов Е.В. Обоснование технологии разработки крутопадающих вытянутых месторождений при ликвидации отставания вскрышных работ. Косолапов А.И. – Дис.канд.техн.наук. – Кемерово: Сибирский федеральный университет, 2008. - 131с.
- 11 Фелоненко М.А., Ратушный В.М. Схема разноса постоянных бортов глубоких карьеров Кривбасса // Горный журнал, 1980. - № 10. - С. 20-21.
- 12 Черных А.Н., Брылин В.Д. Реконструкция Сибайского меднорудного карьера // Горный журнал, 1980. - № 10. - С.21-22.
- 13 Оводенко Б.К., Решетняк С.П., Кампель Ф.Б. Развитие горных работ на временно нерабочем борту // Горный журнал, 1981. - № 1. - С. 31-32.
- 14 Колибаба В.Л., Станиславский Л.Я. Определение этапов вскрытия и отработки глубоких горизонтов карьера для поддержания проектной мощности // Горный журнал, 1981. - № 3. - С. 34-37.

15 Астафьев Ю.П., Михайлов А.М. Интенсификация вскрышных работ – основной путь дальнейшего развития карьеров Кривбасса // Горный журнал, 1981. - № 5. - С. 19-25.

16 Васильев М.В., Саканцев Г.Г. Оптимизация параметров рабочей зоны глубоких карьеров // Горный журнал, 1981. - № 8. - С. 21-23.

17 Кумченко Н.Н. Направления совершенствования технологии разработки вытянутых крутопадающих месторождений // Горный журнал, 1991. - № 9. - С. 34-36.

18 Синьчковский В.Н., Вокин В.Н., Теняшников В.А. Формирование рабочей зоны карьеров с учетом расконсервации временно нерабочих бортов // Журнал «Горный информационно-аналитический бюллетень». – Москва: МГГУ, 2006. - № 3. – С. 306-307.

19 Дриженко А.Ю., Козенко Г.В., Рыкус А.А. Открытая разработка железных руд Украины: состояние и пути совершенствования. – Днепропетровск: НГУ, 2009. – 452 с.

20 Дриженко А.Ю. Этапная разработка пород вскрыши железорудных карьеров крутонаклонными выемочными слоями // Горный журнал. – М.: Горная книга, 2011. - № 2. - С. 25-28.

21 Гавришев С.Е., Колонюк А.А., Бурмистров К.В. Особенности конструирования и расконсервации временно нерабочих бортов // Журнал «Горный информационно-аналитический бюллетень». - М.: Изд-во Горная книга, 2007. - № 2. - С. 272-275.

22 Арсентьев А.И., Проломова Т.А., Тихонов Р.А. Динамика параметров и показателей карьера в процессе работы со стабильной производительностью по горной массе // Изв. вузов. Горный журнал. – Екатеринбург. – 2001, № 5. - С. 26-30.

23 Васильевский В.О. Формирование ВНБ разреза «Нерюнгринский» в плане и регулирование режима горных работ // Журнал «Горный информационно-аналитический бюллетень». - М.: Изд-во Горная книга, 2007. - № 2. - С. 58-63.

24 Косолапов А.И., Килин Ю.А., Вашлаев И.И., Черепанов Е.В. Исследование заваленности рабочей зоны при поэтапном ведении горных работ на карьерах // Журнал «Горный информационно-аналитический бюллетень». - М.: Изд-во Горная книга, 2006. - № 3. - С. 210-212.

25 Макшеев В.П., Ненашев А.С., Федотенко В. С. Обоснование периода перехода к разработке вскрышных пород высокими уступами при транспортной технологии // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово: изд-во КузГТУ, 2012. - № 3. - С. 55-58.

26 Холодняков Г.А., Андриевский П.В. Совершенствование метода регулирования режима горных работ с помощью графика минимальных текущих объемов // Сб. научных трудов «Современные проблемы горной науки». – Сан-Петербург: СПГГИ (ТУ). - Записки Горного института, 2007. - Т. 173. - С. 38-40.

27 Донченко Т.В. Способ расконсервации временно нерабочего борта карьера в два этапа с образованием насыпной призмы // Записки Горного института. - Сан-Петербург: СПГИ (ГУ), 2002. - Т 150. - часть 2. - С. 33-36.
ПОПОВ В.Н., Байков Б.Н. Технология отстройки бортов карьеров. -М.: Недра, ' 1991.-252 с.

28 Истомин В.В. Технологические системы открытых горных работ: сущность, значимость, проблемы, подходы к решению // Вестник XXI. Сборник статей. 15 лет РАЕН. - М., 2005.

29 Корнилков С.В. Опыт совершенствования технологий отработки глубоких уральских карьеров крутыми бортами // Известия Уральской государственной горно-геологической академии. - Е., 2000. - №11.

30 Пастихин Д.В., Аникин К.В., Толипов Н.У. Рациональная конструкция рабочего борта глубоких карьеров при применении экскаваторно-автомобильного комплекса оборудования // Обоснование конструкции рабочего борта глубоких карьеров: Отдельные статьи ГИАБ. - М.: МГГУ, 2011. - №2. - С.-3-10.

31 Вокин В.Н. Обоснование технологических параметров временно нерабочих бортов карьеров. Косолапов А.И. – Дис.канд.техн.наук. – Красноярск: РГБ ОД, 2001. - 196с.

32 Rakishev B.R., Moldabajev S.K. Cyclig-Line technologies on coal cuts of Kazakhstan // 22nd world mining congress. - Istanbul, Turkish, 2011. – P. 233-237.

33 Ракишев Б.Р., Молдабаев С.К., Абен Е. Технология горных работ на строительстве карьера первой очереди с минимальным разнесом бортов //Матер. Межд. науч.-практ. конф. «Форум горняков 2013». – Днепропетровск: НГУ, Украина, 2013. - Т. 1 - С. 103-108.

34 Молдабаев С.К., Абен Е. Технология безопасного интенсивного производства горных работ на крутых бортах глубоких карьеров // Горный журнал Казахстана, 2016. - № 10. – С. 23-35.

35 Moldabayev S.K., Sultanbekova Zh., Aben Ye., Risbaiuly B. Creating the effective implementation of double subbench mining technology // Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. – London: Taylor & Francis Group, 2014. – p 351-356.

36 Ракишев Б.Р., Молдабаев С.К., Рысбеков К.Б. Технология ликвидации отставания вскрышных работ на карьерах с использованием экскаваторно-автомобильных комплексов // Научно-технический журнал «Горный информационно-аналитический бюллетень». – Москва: Изд-во Горная книга, 2015. – № 4. - С. 103-112.

37 Rakishev B.R., Moldabayev S.K., Aben Y. Minimizing the Time of Reaching the Final Depth in the Pit of the First Train When Extracting the Elongated Steep-Dipping // Proceedings of the 22nd MPES Conference. – Dresden, Germany: Springer International Publishing Switzerland, 2014. – Volume 1. - p 209-216.

38 Молдабаев С.К., Абен Е., Дриженко А.Ю., Рысбайулы Б. Интенсификация строительства Ломоносовского карьера при новом порядке

формирования рабочей зоны на крутых бортах // Журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность». - Днепропетровск, 2016. – № 3. – С. 109-115.

39 Moldabayev S.K., Sultanbekova Zh., Aben Ye., Risbaiuly B. Ways to achieve the optimal schedule of the mining mode of double subbench mining // Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. – London: Taylor & Francis Group, 2014. – p 35-39.

40 Молдабаев С.К. Оптимизация развития рабочей зоны на крутых бортах действующих и строящихся карьеров Казахстана // Сб. науч. тр. Национального горного университета - Днепр: НГУ, 2017. – Выпуск 50. – С. 69-78.

41 P. McKelvey, G. Beale, A. Taylor, S. Mansell, B. Mira, C. Valdivia, W. Hitchcock. Depressurization of the north wall at the Escondida Copper Mine, Chile // Journal: Geological Society, London, Special Publications , vol. 198, no. 1. - 2002. - pp. 107-119.

42 Rakishev B.R., Moldabayev S.k., Aben Ye., Samenov G., Anafin K.M. Innovative technology of expanding the boundaries of efficient application of the open cast mining method // Proceedings of the 23rd World Mining Congress, Montreal, Canada, (2013)

43 Moldabayev S.K., Sultanbekova Zh.Zh., Aben Ye., Gumenik I. Equalization of traffic flows of benches in the working area benches with excavator-truck complexes // Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. - CRC Press/Balkema, 2014. – pp. 327-332

44 Прокопенко В.И., Добрынин А.В. Повышение надежности работы карьеров путем опережения вскрышных уступов//Известия вузов: Горный журнал. -1995.-№9.-0.26-29

45 I de Bruyn, Prado D, Mylvaganam J, Walker D. Geotechnical considerations for the stability of open pit excavations at mine closure: some scenarios // Australia Mine Closure 2019 // Электронная версия на сайте: https://papers.acg.uwa.edu.au/p/1915_19_de_Bruyn/

46 Shuangshuang X., Guowei D., Hongsheng W. Dynamic capacity balance between stripping and mining of a dragline stripping system // International Journal of Coal Science & Technology volume. – 2020. - №7, pp. 380-387.

47 Молдабаев С.К., Абен Е., Бабий Е.В. Оптимизация положения нижней части вскрышной зоны карьера при новом развитии горных работ // Metallurgical and Mining Industry. – Днепро: ИГТМ АНУ, 2016. - № 6. – С. 70-78.

48 Молдабаев С.К., Абен Е. Технология безопасного эффективного производства горных работ на крутых бортах глубоких карьеров // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2016. - № 10. – С. 23-29.

49 Дриженко А.Ю. Управление выемкой пород вскрыши на глубоких железорудных карьерах Украины // Сб. научн. тр. «Экология и природопользование». – Днепропетровск, 2004. – выпуск 7. – С. 94-98.

50 Дриженко А.Ю. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров / А.Ю. Дриженко, В.П. Мартыненко, В.И. Симоненко и др. – М.: Недра, 1994. – 288 с.

51 Дриженко А.Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы: Монография. - Днепропетровск: НГУ, 2011. - 542 с.

52 Пешков А.А. Управление развитием горных работ на глубоких карьерах / Под ред. акад. К.Н. Трубецкого - М.: ИПКОН РАН, 1999. - 321 с.

53 Корнилков С.В. Управление рабочей зоной действующих и проектируемых глубоких карьеров: Дис. д-ра техн. наук. – Екатеринбург, 1997. – 277 с

54 Технологические параметры глубоких карьеров / М.Г. Новожилов, А.М. Маевский, С.А. Бондарь и др. - М.: Недра, 1982. - 175 с.

55 Молдабаев С.К., Дриженко А.Ю., Анисимов О.А., Шустов А.А., Абен Е. Модернизация перегрузочных устройств при комбинированном автомобильно-железнодорожном транспорте в глубоких карьерах // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2016. - № 6. – С. 27-33

56 Яковлев В.Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров: монография. — Новосибирск: Наука СО, 1989. — 240 с.

57 Moldabayev, S.K., Aben, Y., Kasymbayev, E.A., Sarybayev, N.O. Complete cyclical-and-continuous technology equipment for intermodal vehicle–conveyor–rail transport // Mining Informational and Analytical Bulletin // “Mining book”. – Moscow, 2019. - pp. 121-124.

58 Четверик М.С., Перегудов В.В., Романенко А.В. и др. Циклично-поточная технология на глубоких карьерах. Перспективы развития: Монография. - Кривой Рог: Дионис (ФЛ-П Чернявский Д.А.), 2012. - 356 с.

59 Четверик М.С. Перспективные технологии добычи руд в глубоких карьерах с минимальными энергетическими затратами / М.С. Четверик, Е.В. Бабий // Збірник наукових праць за результатами роботи II Міжнародної науково-технічної конференції. – Кривий ріг: ФОП Чернявський Д.О., 2012. – С. 97-98.

60 Дриженко А.Ю. Исследование эффективности использования крутонаклонных конвейеров в глубоких карьерах / А.Ю. Дриженко, С.К. Молдабаев, О.А. Анисимов, А.В. Никоненко // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2015. – № 6. - С. 36-41.

61 Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. Изд. 3-е. перераб. и доп. М.: Недра, 1978. – 390 с.

62 Moldabayev S., Rysbayuli B., Sultanbekova Z., Toktarov A. Methodical approach to creation of the 3D model of oval form open pit mines // 17th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production (SWEMP 2017). - Lulea, Sweden, 2017. – pp. 257-264.

63 Moldabayev S., Rysbayuly B., Sultanbekova Z., Sarybayev N. 3D modeling of phased development of mining operations on steeply dipping round

deposits // 6th International Conference on Computer Applications in the Minerals Industries (CAMI 2016). - Istanbul, Turkey, 2016. – serial number 43. – 5 p.

64 Фомин С.И., Холодняков Г.А. Планирование отработки месторождений группы карьеров // Горный журнал, 1999. - № 7. - С. 45-46

65 Moldabayev S., Rysbayuly B., Sultanbekova Z., Aben Y., Sarybayev N. Dynamic model of new order of working zone forming realization on steep boards of oval form quarries // 6th International Conference on Computer Applications in the Minerals Industries (CAMI 2016). - Istanbul, Turkey, 2016. – serial number 20. – 7 p.

66 Askari-Nasab H., Frimpong S., Szymanski J. Investigating continuous time open pit dynamics // The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2008. – pp. 63-71.

67 Elahi zeyni E., Kakaie R., Yousefi A. A new algorithm for optimum open pit design: Floating cone method III // Journal of Mining & Environment, Vol.2, No.2, 2011. – pp. 118-125.

68 Souza M.J.F., Coelho I.M., Ribas S., Santos H.G., Merschmann L.H.C. A hybrid heuristic algorithm for the open-pit-mining operational planning problem // Preprint submitted to Elsevier. – Federal University of Ouro Preto, 2010.

69 Интенсификация строительства, реконструкции и повышение эффективности эксплуатации карьеров с применением двухуровневой отработки уступов с равной длиной фронта их работ. – Заключительный отчет по гранту 1686/ГФ4. - № гос. регистрации 0115РК01813, Инв. № 0217РК01980. – Научный руководитель - Молдабаев С.К. – Алматы: КазНТУ, 2017. – 184 с.

70 Rakishev B.R., Moldabayev S.K., G.K. Samenov, Aben Ye., Anafin K.M. Modeling design of working boards with reloading points at the border of transferring cargo from railway to motor transport // 23rd World Mine Conference Proceedings. – 2013, Montreal, Canada.

71 Moldabayev S.K., Rysbaiuy B. Solution of nonlinear programming problem by Bellman method while optimizing the two-level mining of benches in deep open pits // Theoretical and practical solutions of mineral resources mining. - CRC Press/Balkema, 2015. – pp. 49-54.

72 Moldabayev S., Aben Ye. New technologies production Mining on a steep board deep pits// International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). – Delhi: Research India Publications, 2016. – No. 16.– pp. – 10458-10464.

73 Diwekar U. Introduction to Applied Optimization. Springer, 2008. - 292 p.

74 Hillier F.S., Lieberman G.J. Introduction to Operations Research. McGraw Hill Higher Education, 2014. — 1050 p.

75 Antoniou A., Lu W.-S. Practical Optimization. Algorithms and Engineering Applications. Springer, 2007. - 675 p.

76 Fu M.C. Handbook of Simulation Optimization. N.-Y.: Springer, 2015. — 400 p.

77 Четверик М.С. Повышение производственной мощности карьера с применением комплекса предобогащения / М.С. Четверик, Е.В. Бабий, В.В. Терещенко [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - Днепропетровск, 2013. - № 3. - С. 96-101.

78 Бас К.М. Параметры транспортных коммуникаций на глубоких карьерах при применении усовершенствованных автосамосвалов / К.М. Бас, В.В. Кривда, Д.В. Швец [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Днепропетровск, 2014. - № 4. - С. 53-57.

79 Бас К.М. Рекомендации по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня / К.М. Бас, В.В. Кривда, Е.А. Бубнова [и др.]. - Днепропетровск: ЧМП «Экономика», 2014. – 30 с.

80 Moldabayev S.K., Adamchuk A.A., Toktarov A.A., Aben Ye., Shustov O.O. Approbation of the technology of efficient application of excavator-automobile complexes in the deep open mines// *НТУ «ДП»*. - Днепр, 2020. – pp. 30-38.

81 Ракишев Б.Р., Молдабаев С.К. Очередность отработки сближенных крутопадающих залежей на примере Ломоносовского месторождения железных руд // *Научно-технический журнал «Горный информационно-аналитический бюллетень»*. – Москва: Изд-во Горная книга, 2016. – № 9. - С. 284-295.

82 Молдабаев С.К., Рысбайулы Б., Султанбекова Ж.Ж., Абен Е. Оптимизация этапов двухподступной отработки крутопадающих залежей поперечными панелями с минимальным разносом бортов // *Материалы Международной науч.-практической конференции «Форум горняков 2013»*. - Днепропетровск: НГУ, Украина, 2013. - Т. 1. - С. 134-139.

83 Молдабаев С.К., Гуменик И.Л., Султанбекова Ж.Ж., Абен Е., Салдыбаева Б.К., Оркеева А.Н. Влияние параметров панелей на эффективность реализации двухподступной технологии на крутопадающих месторождениях сложной конфигурации Печатное // *Труды Международных Сатпаевских чтений «Роль и место молодых ученых в реализации стратегии «Казахстан-2050», посвященных 80-летию КазНТУ имени К.И.Сатпаева*. Алматы, 2014. - С.424-431.

84 Молдабаев С.К., Абен Е., Касымбаев Е.А., Сарыбаев Н.О. Комплектация комплексов циклично-поточной технологии при комбинированном автомобильно-конвейерно-железнодорожном виде транспорта // *Научно-технический журнал «Горный информационно-аналитический бюллетень»*. – М:«Горная книга», 2019. - № 7. - С. 158-173.

Приложение А

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ТОО Проектная компания «Антал»
(наименование предприятия)


Пеховой Н.А.
(подпись, фамилия, инициалы)
М.П.
«09» октября 2020г.


Акт приемки для внедрения в проект
результатов докторской диссертационной работы
«Инновационные методы расконсервации временно нерабочих бортов
глубоких карьеров»
Әбен Елдоса

Настоящим актом подтверждаем, что результаты диссертационной работы «Инновационные методы расконсервации временно нерабочих бортов глубоких карьеров» докторанта PhD Әбен Елдоса, выполненной в НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» в период 2013-2016гг., приняты для внедрения ТОО Проектной компанией «Антал», Юридический адрес: 050000, г. Алматы ул. Наурызбай Батыра, д.102; Фактический адрес: 050000, г. Алматы бул. Бухар-Жырау 33, БЦ «Женис», оф. 708; тел. раб. 8 (727) 272-63-11, 3763342 как научно-обоснованные положения для проектирования технологии интенсивного проведения реконструкции карьеров при значительном отставании вскрышных работ с «12» октября 2016г.

Выполненные по проекту исследования позволили выработать научно-обоснованные положения по технологии безопасного интенсивного развития рабочей зоны вдоль крутых бортов позволяет отказаться от формирования временно нерабочих бортов для уменьшения текущих объемов вскрышных работ в глубоких карьерах. При использовании экскаваторно-автомобильных комплексов предложенный порядок развития рабочих зон обеспечит ликвидацию отставания вскрышных работ в кратчайшие сроки, а также последовательное ритмичное производство вскрышных и добычных работ с созданием на промплощадке обогащительных фабрик необходимого запаса добытой руды при значительно меньшем, по сравнению с известными аналогами, объеме текущей вскрыши.

Разработаны технологические схемы ведения горных работ на крутых бортах карьерных полей округлой и вытянутой формы, способы перехода на нее и технологии расконсервации временно нерабочих участков глубоких и сверхглубоких карьеров. Доказана техническая возможность и экономическая целесообразность перехода на отработку высоких уступов поперечными панелями с двух уровней стояния экскаваторов при ориентации фронта работ уступов рабочей зоны перпендикулярно фронту работ уступов крутых бортов. Установлено, что при использовании мощных экскаваторно-автомобильных комплексов достигается последовательное ритмичное производство вскрышных и добычных работ в каждом последующем прирезаемом технологическом этапе отработки с экономичным календарным графиком горных работ. Независимое развитие рабочей зоны относительно крутых бортов сверху вниз с минимально достаточными ее размерами при использовании мощных экскаваторно-автомобильных комплексов обеспечит концентрацию горных работ на постоянной основе при минимальных требуемых объемах выемки вскрышных пород без формирования временно нерабочих бортов и ежемесячного регулирования вскрываемых запасов руды непосредственно в карьере, даже при тупиковом развитии фронта работ предлагаемые конструкции развития рабочей зоны вдоль крутых бортов позволяют организовать двухсторонний подъезд самосвалов к экскаватору и за счет уменьшения угла поворота экскаватора увеличить его производительность до 30-40%.

Разработана методология расконсервации временно нерабочего борта в глубоких рудных карьерах, включающей обоснование рациональных транспортных схем, 3-D моделирование поэтапных контуров карьера через оптимизацию коэффициента вскрыши и контуров этапов отработки, в особенности на карьерных полях округлой формы.

Разработана технология расконсервации временно нерабочего борта ниже границы применения железнодорожного транспорта при использовании. Сокращение сроков освоения и стабилизации проектной мощности карьера при минимальных объемах вскрышных работ достигается при своевременном начале отработки уступов очередного крутонаклонного слоя поперечными панелями определенной ширины в границах коренных пород с высокопроизводительным использованием экскаваторно-автомобильных комплексов на широких площадках. Выявлено, что при планировании развития горных работ следует выполнять расчет производительности экскаваторов на выемке пород скальной вскрыши для интенсивной отработки уступов поперечными панелями сверху вниз ниже границы применения железнодорожного транспорта. При невозможности обеспечения подготовленных запасов для выполнения планируемого объема добычи следует вести одновременную совместную отработку уступов пород скальной вскрыши продольными и поперечными панелями.

Предложен новый порядок формирования рабочей зоны на рудных и угольных карьерах Казахстана. Предложенный порядок развития рабочей зоны при открытой разработке крутопадающих месторождений округлой (овальной) формы обеспечит концентрацию горных работ на постоянной основе при минимальных требуемых объемах выемки вскрышных пород без формирования временно нерабочих бортов (ВНБ) и ежемесячного регулирования вскрытых запасов руды непосредственно в карьере. В этом случае как таковая в общепринятом понимании реконструкция горнотранспортной системы глубоких карьеров при разработке крутопадающих месторождений округлой (овальной) формы не потребуется.

Учитывая глубину проработки задач исследования по инновационным методам расконсервации временно нерабочих бортов глубоких карьеров, ТОО Проектная компания «Антал» предлагает апробировать ее в разрабатываемых проектах с привлечением авторов научно-исследовательской работы.

Исполнитель работы



Е. Абен

Ответственный за внедрение от ТОО
Проектная компания «Антал»



М.Б. Аманкулов