

На правах рукописи

Овсянников Максим Павлович



**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАРЬЕРОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ РУДНЫХ
КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЭТАПАМИ**

*Специальность 25.00.21 – Теоретические основы проектирования
горнотехнических систем*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2022

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Фомин Сергей Игоревич

Официальные оппоненты:

Гавришев Сергей Евгеньевич

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра разработки месторождений полезных ископаемых, заведующий кафедрой;

Билин Андрей Леонидович

кандидат технических наук, Горный институт - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», ведущий научный сотрудник.

Ведущая организация – Акционерное Общество «Полиметалл Инжиниринг», г. Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится 26 сентября 2022 г. в 11:00 на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.09 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, ауд. № 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 26 июля 2022 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КОВАЛЬСКИЙ
Евгений Ростиславович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

До недавнего времени разработка рудных месторождений на больших глубинах была возможна только с применением подземного способа разработки, однако в современных условиях проектная глубина некоторых карьеров уже приближается к 1000 м.

Основная возникающая проблема при разработке глубоких карьеров – это возрастающий текущий коэффициент вскрыши, а также организационно-технические сложности в работе рудника в период достижения горными работами конечных контуров карьера по поверхности.

Рациональная отработка рудных крутопадающих месторождений возможна при постепенном обоснованном наращивании производственных мощностей и формировании рабочей зоны с учётом сложности геологического строения рудных тел.

Известно, что отработка рудных крутопадающих месторождений этапами (очередями) является одним из способов обеспечения надёжности работы карьера и улучшения экономической эффективности отработки месторождения.

Обоснование метода выбора рационального варианта разработки карьера этапами, основанного на анализе режима горных работ, динамики рынков минерального сырья и на вариантной технико-экономической оценке развития рабочей зоны в контурах карьера при различных положениях и конструкциях временно нерабочего борта является задачей, имеющей существенное значение для методологии проектирования.

Степень разработанности темы исследования

Способ отработки месторождений этапами применяется как в России, так и в мировой практике. Проектные институты «Унипромедь», «Гипрошахт», «Гипроруда» и др. успешно внедряли данный способ в проекты разработки рудных крутопадающих месторождений.

Научные исследования в области поэтапной отработки месторождений карьерами связаны с работами В.С. Хохрякова и его учеников. Решением методологических проектных задач отработки месторождений этапами занимались Н.В. Мельников, Ж.В. Бунин,

А.И. Арсентьев, Г.А. Холодняков, С.И. Фомин, Б.К. Оводенко, С.С. Аршинов, В.И. Шатуев и др.

Однако, в существующих методах проектирования открытой разработки рудных крутопадающих месторождений этапами не получили обоснование рациональные схемы разработки протяжённых сближенных крутопадающих рудных месторождений.

Следует отметить, что при проведении системного анализа параметров карьера каждой очереди необходимо применять современные критерии и методы оценки эффективности принятия проектных решений по вариантам этапной разработки. Обоснование метода рационального варианта разработки карьера этапами, основанного на анализе режима горных работ, динамики рынков минерального сырья и на вариантной технико-экономической оценке развития рабочей зоны в контурах карьера при различных положениях и конструкциях временно нерабочего борта, является задачей, имеющей существенное значение для методологии проектирования.

Цель работы – обоснование и разработка методов проектирования карьеров при отработке протяженных сближенных крутопадающих рудных месторождений этапами, позволяющих повысить эффективность принимаемых проектных решений.

Идея работы – проектирование открытой разработки протяженных сближенных крутопадающих рудных месторождений должно базироваться на разработанных методах и рациональных схемах деления карьера на этапы, позволяющих уменьшить в первый период разработки коэффициент вскрыши и объём горно-капитальных работ, а также отнести удаление объёмов вскрышных пород на более поздний период.

Основные задачи исследований:

1. Анализ и обоснование способов проектирования поэтапной разработки рудных крутопадающих месторождений.
2. Научное обоснование метода ведения открытых горных работ этапами, с учётом горнотехнических условий разработки рудных крутопадающих месторождений.
3. Анализ режима открытых горных работ при разработке сближенных залежей по этапам.

4. Определение предполагаемого экономического эффекта от реализации предлагаемых проектных решений.

Научная новизна работы:

1. Выявлена степень влияния различных факторов на рациональную глубину этапа в зависимости от коэффициента эластичности.

2. Обоснован метод и критерий оценки технико-экономической эффективности принятия решений при проектировании открытой разработки крутопадающих рудных месторождений этапами.

3. Обоснована методика построения календарного плана разработки участков крутопадающих рудных месторождений по этапам.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Разработана модель технико-экономической оценки вариантов открытой разработки рудных крутопадающих месторождений этапами.

Разработанная методика определения производительности карьера при проектировании открытой разработки рудных крутопадающих месторождений этапами включена в состав учебно-методического комплекса для обучения специалистов по направлению подготовки 25.00.21 «Горного дело» Горного университета (акт о внедрении от 28 марта 2022 г.).

Разработанная методика сравнения вариантов отработки карьеров этапами и методика календарного планирования развития горных работ при разработке месторождений с использованием временно нерабочих бортов внедрены в проектную деятельность «ООО Карьерпроект» (акт о внедрении от 22 марта 2022 г.).

Обоснованы рациональные условия применения типичных схем разделения карьера на этапы разработки при проектировании открытой разработки рудных крутопадающих месторождений.

Методология и методы исследования.

Использованы методы научного анализа и обобщения теоретических исследований в области разработки карьеров этапами, а также опыт производственной и проектной практик. Для достижения поставленных задач использовалось горно-геометрическое моделирование, анализ и оценка развития рабочей зоны карьера, метод графического отображения функциональных зависимостей, математическое моделирование развития горных работ для стабилизации извлекаемых объемов полезного ископаемого и горной массы по этапам отработки карьера.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Оптимизацию календарного графика горных работ с учётом горнотехнических особенностей открытой разработки крутопадающих рудных месторождений этапами следует проводить по разработанной методике, обеспечивающей выполнение планируемых объемов работ и возможность одновременного их интенсивного ведения в границах различных этапов, а также повышение эффективности и достоверности проектных решений.

2. Выбор оптимального экономически целесообразного варианта глубины первого этапа отработки крутопадающего рудного месторождения карьером целесообразно проводить по разработанному методу с использованием критерия максимума чистой текущей стоимости реализации проекта (NPV) с учётом наиболее значимых факторов, выявленных на основе анализа чувствительности NPV к изменению показателей и параметров системы разработки.

3. Проектирование открытой разработки крутопадающих рудных месторождений этапами должно базироваться на разработанных методах, позволяющих уменьшить в первый период отработки месторождения коэффициент вскрыши, снизить объем горно-капитальных работ, отнести удаление объёмов вскрышных пород на более поздний период, построить рациональный календарный график вскрышных работ с учётом объёмов горных работ по ликвидации временно нерабочего борта (ВНБ), а также сократить суммарные приведенные эксплуатационные затраты на разработку месторождения на 10-20 %.

Степень достоверности результатов исследования обеспечивается применением современных научных методов исследования; математического моделирования с использованием специализированного ПО; обширным привлечением проектных и фактических материалов работы отечественных и зарубежных карьеров-аналогов; использованием информации о развитии рынков минерального сырья; технико-экономической оценки разработанных технологий.

Апробация результатов проведена на научно-практических мероприятиях с докладами:

1. Всероссийская научно-практическая конференция «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: эффективное освоение месторождений полезных ископаемых», г. Санкт-Петербург, Россия, 2020 г.

2. IV Международная научно-практическая конференция «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование», г. Санкт-Петербург, Россия, 2021 г.

По теме диссертации опубликовано 6 научных работ.

Личный вклад автора заключается в разработке и обосновании метода и критерия оценки технико-экономической эффективности принятия решений при проектировании открытой разработки протяженных сближенных крутопадающих рудных месторождений этапами; установлении степени влияния различных факторов на рациональную глубину этапа в зависимости от коэффициента эластичности; обосновании методики построения календарного плана разработки сближенных участков крутопадающих рудных месторождения по этапам при проектировании карьеров с учетом горнотехнических особенностей крутопадающих рудных месторождений.

Публикации по работе. Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 6 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК); в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus.

Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырёх глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 110 наименований. Диссертация изложена на 163 страницах машинописного текста, содержит 31 рисунок и 11 таблиц

Благодарности. Автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору Фомину Сергею Игоревичу за помощь, оказанную при работе над диссертацией, сотрудникам кафедры РМПИ Горного университета, а также доктору технических наук, доценту кафедры РМПИ МГТУ им Г.И. Носова Бурмистрову Константину Владимировичу за предоставленные информационные материалы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, идея, задачи, защищаемые положения и научная новизна полученных результатов.

В первой главе представлен анализ состояния вопроса разработки крутопадающих рудных месторождений этапами. Проведена оценка современного состояния минерально-сырьевой базы медного сырья, а также оценена целесообразность реализации способа поэтапной разработки месторождения в условиях современного горнодобывающего предприятия.

Во второй главе выполнена оценка стохастического характера исходных данных при проектировании отработки крутопадающих рудных месторождений и исследование чувствительности параметров и показателей разработки крутопадающих рудных месторождений.

В третьей главе представлен метод формирования календарного плана развития горных работ, а также представлены рациональные условия применения различных способов возобновления и развития горных работ на временно нерабочем борту карьера.

В четвертой главе проведена оценка эффективности проектных решений для карьеров АО «Михеевский ГОК» и выполнено сравнение с предлагаемым вариантом.

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях.

1. Оптимизацию календарного графика горных работ с учётом горнотехнических особенностей открытой разработки крутопадающих рудных месторождений этапами следует проводить по разработанной методике, обеспечивающей выполнение планируемых объемов работ и возможность одновременного их интенсивного ведения в границах различных этапов, а также повышение эффективности и достоверности проектных решений.

При максимальной скорости и переменном направлении углубки карьера величина, на которую подвигается уступ по горизонтали, может иметь некоторую область значений, ограниченную минимальным и максимальным пределом.

Соответственно, при понижении горных работ с первого на второй горизонт с наибольшей допустимой скоростью горные работы к моменту окончания подготовки второго горизонта могут иметь два крайних варианта положения.

Выявленные пределы горизонтального разноса борта карьера при максимальной интенсивности горных работ легли в основу предложенного графоаналитического метода установления возможной производительности карьера по руде, основные положения которого заключаются в следующем:

1) в соответствии с принятым направлением углубки строятся положения горных работ на весь период отработки карьера по двум предельным вариантам интенсивности разноса в горизонтальном направлении, обеспечивающим проектные рабочие площадки, а также выемку горной массы в полном объеме;

2) производится расчет объемов руды на каждом добычном горизонте и по всему карьере на момент окончания подготовительных работ всех горизонтов;

3) определяется время подготовки горизонтов.

График нарастающих объемов добычи полезного ископаемого P от времени T можно построить для двух вариантов: разработка карьера с минимально допустимыми размерами рабочих площадок или вариант с выемкой максимума горной массы (рисунок 1).

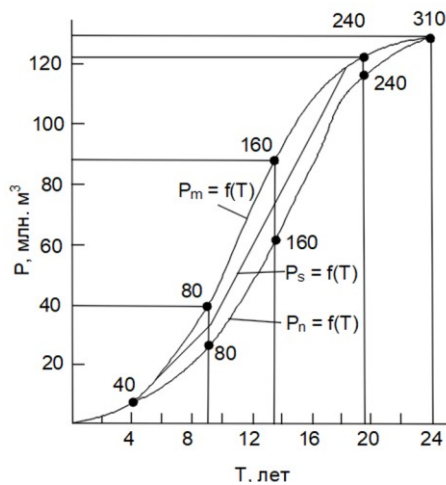


Рисунок 1 – График нарастающих объемов добычи полезного ископаемого во времени для рудного карьера

Стабилизационная производительность рудника по руде, установившаяся согласно прогнозируемому спросу на полезное ископаемое, на графике характеризуется тем, что угол, под которым проходят прямые относительной стабилизации к оси абсцисс не могут быть больше, чем максимальный угол наклона отрезков кривых $P_n = f(T)$ и $P_m = f(T)$, в любой временной промежуток (здесь P_n и P_m – производительности карьера с минимально и максимально допустимыми размерами рабочих площадок соответственно).

Кривая графика $P_s = f(T)$ характеризует производительность карьера в режиме относительной стабильности спроса на полезное ископаемое. Такая величина производительности обеспечивает самый благоприятный инвестиционный климат и окупаемость денежных вложений, благодаря отсутствию резких колебаний в числе требуемого оборудования и рабочего персонала карьера.

Зная объём вскрышных пород, удаляемых в течение переходного периода из рабочей зоны карьера, можно установить объём пород, вынимаемых за тот же срок в зоне разноса нерабочего борта (ВНБ). Таким образом, может быть установлена высота части ВНБ, разнесенной в течение переходного периода, что необходимо знать при планировании развития горных работ.

Применительно к календарному плану развития горных работ с использованием нерабочего борта, помимо продолжительности i -го календарного этапа t_{ki} , предлагается использовать еще один параметр – срок службы i -го пространственного этапа t_{ci} , который равен времени от начала до конца отработки запасов полезного ископаемого в контурах данного пространственного этапа (рисунок 2).

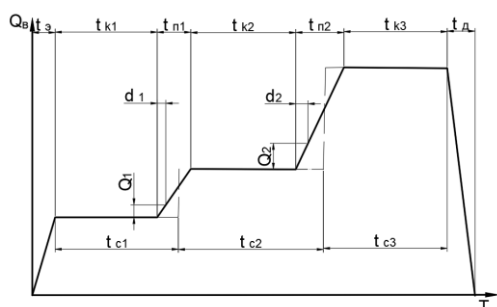


Рисунок 2 – Календарный план развития производительности карьера по вскрыше

Срок службы пространственного этапа t_{ci} включает в себя: t_{ni} – календарный этап разработки и частично один или два переходных периода; t_3 – время, за которое карьер достигает проектной производительности; t_d – период доработки карьера; d_i – время, необходимое для ввода одного вскрышного экскаватора с производительностью Q_i .

На рисунке 3 представлены графики зависимости нарастающих объемов вскрышных пород V и производительности карьера по вскрыше Q_B от времени. Рациональный вариант распределения по времени удаляемых из карьера объемов вскрыши для двух смежных этапов изображается на графике ломаной ACE .

Точка C соответствует мгновенному переходу карьера к работе с большим коэффициентом вскрыши. Абсцисса точки C обозначена T_{Hi} . На рисунке 4 показано соотношение продолжительностей сроков отработки первых двух пространственных этапов.

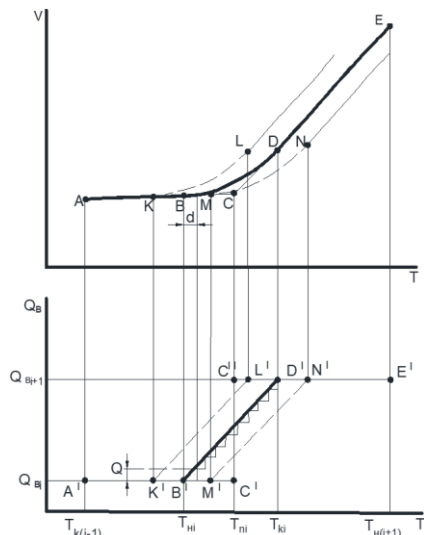


Рисунок 3 – Зависимости нарастающих объемов вскрышных пород V и производительности карьера по вскрыше Q_3 от времени для определения продолжительности переходного периода от этапа к этапу

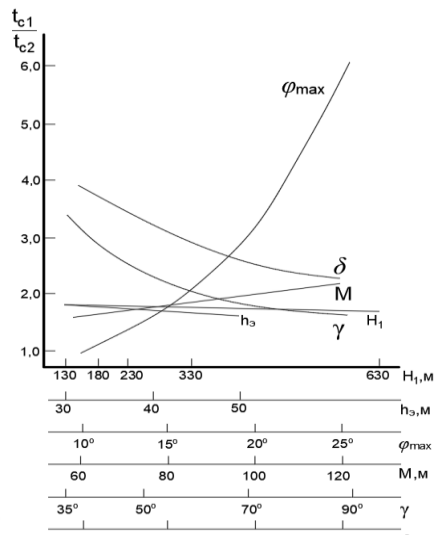


Рисунок 4 – Изменение соотношения продолжительностей сроков отработки первых двух пространственных этапов в зависимости от горно-геологических и горнотехнических факторов

С учетом того, что переходный период может продолжаться несколько лет, необходимо определить, помимо его продолжительности, время начала технологических мероприятий по увеличению производительности карьера по вскрыше.

Увеличение производительности карьера по вскрыше должно осуществляться равномерно и в минимально возможные сроки.

Следовательно, отрезок прямой, изображающий на графике переходный период, будет иметь постоянные длину и угол наклона $B'D'$ ($K'L'$ или $M'N'$).

Анализ данных, представленных на рисунке 4, позволяет сделать вывод, что за исключением одного случая ($\varphi_{max} = 10^\circ$) максимальный срок службы первого пространственного этапа больше, чем второго. Причем, если исключить два крайних значения (при $\varphi_{max} = 10^\circ$ и 25°), то весь диапазон изменения соотношения составляет 1,58 – 3,86, т.е. максимальный срок службы первого пространственного этапа может превышать срок службы второго от полутора до четырёх раз.

Таким образом, максимальная глубина первого этапа имеет ограничение по эксплуатационному коэффициенту вскрыши второго этапа, который не должен превышать коэффициента вскрыши третьего этапа или граничного коэффициента вскрыши при отработке в два этапа.

2. Выбор оптимального экономически целесообразного варианта глубины первого этапа отработки крутопадающего рудного месторождения карьером целесообразно проводить по разработанному методу с использованием критерия максимума чистой текущей стоимости реализации проекта (NPV) с учётом наиболее значимых факторов, выявленных на основе анализа чувствительности NPV к изменению показателей и параметров системы разработки.

Зависимость $NPV = f(H_3)$ является непрерывной функцией, имеющей явно выраженный максимум. Таким образом, выбор оптимального экономически целесообразного варианта глубины первого этапа отработки месторождения карьером целесообразно проводить по критерию максимума NPV.

Экономические показатели (прибыль, капитальные затраты), а также продолжительность этапов разработки находятся в функциональной связи с эксплуатационным коэффициентом вскрыши и глубиной этапа.

Допустим, что все указанные факторы, оказывающие влияние на рациональную глубину этапа разработки, остаются неизменными

на уровне средних значений, за исключением одного – исследуемого фактора. В этом случае каждому значению исследуемого фактора соответствует определенное значение рациональной глубины этапа. Изменяя исследуемый фактор, получаем соответствующее изменение рациональной глубины этапа, выражаемое коэффициентом эластичности.

Результаты анализа влияния различных факторов на рациональную глубину первого этапа разработки позволяют сделать следующие выводы:

1. На рациональную глубину этапа разработки оказывают существенное влияние факторы, связанные с текущими объемами горных работ и временными параметрами.

2. Для рассматриваемых пределов определяющих факторов соотношение конечной глубины карьера и рациональной глубины этапа разработки располагаются в диапазоне 0,44 – 0,67, среднее значение 0,55.

3. Для принятых средних значений исходных данных, в зависимости от коэффициента эластичности, факторы, влияющие на рациональную глубину этапа, распределяются от самого значимого к менее значимому: конечная глубина карьера, угол откоса ВНБ, процентная ставка, скорость понижения горных работ при разносе временно нерабочего борта карьера, себестоимость вскрыши, удельные капиталовложения.

3. Проектирование открытой разработки крутопадающих рудных месторождений этапами должно базироваться на разработанных методах, позволяющих уменьшить в первый период отработки месторождения коэффициент вскрыши, снизить объем горно-капитальных работ, отнести удаление объемов вскрышных пород на более поздний период, построить рациональный календарный график вскрышных работ с учётом объемов горных работ по ликвидации временно нерабочего борта (ВНБ), а также сократить суммарные приведенные эксплуатационные затраты на разработку месторождения на 10-20 %.

Предлагается во время всего периода отработки карьера разделять вскрышную и добычную зону, располагая их на разных участках и чередовать работы на них попеременно (рисунок 5).

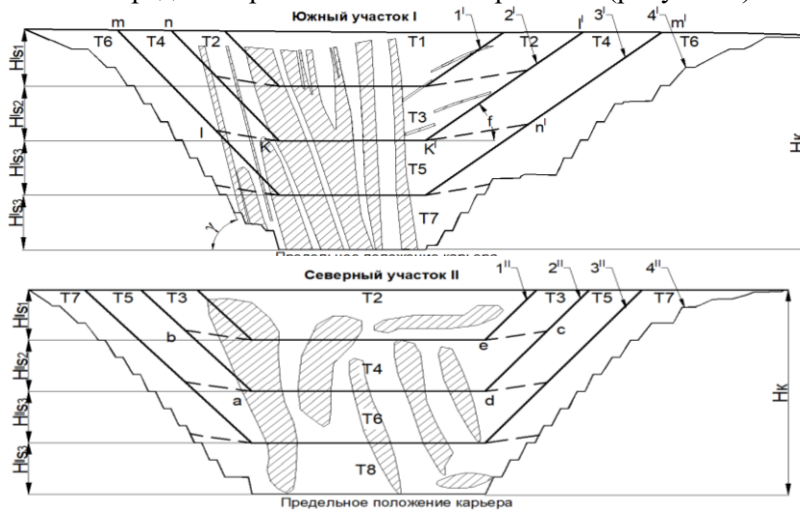


Рисунок 5 – Схема разделения Северного и Южного участка карьера «Михеевский» на этапы

В период отработки запасов руды очередного этапа одного из участков на другом участке породный борт продвигают от границ ранее отработанного этапа до границ последующего этапа отработки. При перемещении породного временно нерабочего борта в следующее положение до границ нижерасположенного этапа в добычной зоне формируется участок рабочего борта с рабочими площадками на каждом горизонте, что обеспечивает условия беспрепятственной отработки запасов руды нижерасположенного этапа. Разнос временно нерабочего борта производится после отработки его запасов, т.е. после окончания ведения всех горных работ рассматриваемого участка карьера, поэтому угол откоса временно нерабочего борта может достигать угла откоса бортов карьера в конечном положении.

Оценка эффективности реализации предлагаемого способа отработки карьеров этапами выполнено на примере Михеевского месторождения медно-порфириновых руд.

Сумма годовой выручки от продажи готовой продукции при максимальной производственной мощности предприятия будет составлять порядка 18-19 млрд руб. в год без учета НДС.

В связи с тем, что инвестиции в освоение Михеевского месторождения будут осуществляться за счет собственных средств компании при незначительных рисках, в дальнейших расчетах принята ставка дисконтирования на уровне 12% годовых.

Капитальные вложения планируется осуществлять за счет прибыли от основной деятельности. Чистый денежный поток за весь период эксплуатации проекта будет составлять 158 млрд руб., после дисконтирования сумма составит 62 млрд руб. (рисунок 6).



Рисунок 6 – Чистые потоки денежных средств

Производительность карьера по горной массе сокращается в первый период на 4 млн м³, что позволяет сократить затраты на 8 млрд руб., которые в случае разработки без разделения карьера на этапы потребовалось бы дополнительно вложить в первые годы разработки.

Благодаря разделению карьера на этапы отработки определяются наиболее точные параметры конечных контуров карьера. При разработке этапами до начала эксплуатации достаточно установить ориентировочное значение глубины и границ карьера. В течение первых двух-трех периодов разработки могут быть с высокой

точностью получены предельные устойчивые углы бортов карьера, бортовое содержание, уточнена качественная характеристика руд и технология их переработки, а, следовательно, проведена более достоверная экономическая оценка отработки месторождения и на этой основе обоснованы границы открытой разработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи: обоснование и разработка методов проектирования карьеров при отработке протяжённых сближенных крутопадающих рудных месторождений этапами, позволяющих повысить эффективность принимаемых проектных решений.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. На основе анализа вариантов схем разделения отработки карьерного поля на этапы установлено, что величина суммарной чистой приведённой прибыли от реализации проектных решений зависит от эксплуатационного коэффициента вскрыши и глубины этапа.

2. Доказано, что соотношение конечной глубины карьера и рациональной глубины этапа находится в диапазоне 0,44 - 0,67 при среднем значении 0,55.

3. Установлено, что определяющие факторы влияют с различной степенью на рациональную глубину этапа в зависимости от коэффициента эластичности. Определение коэффициента эластичности позволило ранжировать исследуемые факторы по степени значимости, от самого значимого к менее значимому: глубина карьера на конец отработки, угол откоса ВНБ, процентная ставка, скорость выхода на проектную производительность при разnose ВНБ, себестоимость вскрышных работ и удельные капиталовложения.

4. Доказано, что для определения оптимального порядка ввода участков по разработке рудных залежей в эксплуатацию и интенсивности их отработки следует проводить анализ кумулятивных графиков по критерию минимума коэффициента горной массы.

5. Установлено, что календарный план развития вскрышных и добычных работ при разработке месторождения, отрабатываемого без выделения этапов, как правило, содержит один основной период эксплуатации, характеризующийся стабильными годовыми объемами добычи полезного ископаемого и удаления вскрышных пород. В случае, если месторождение разрабатывается очередями или с использованием временно нерабочих бортов (ВНБ), то календарный план в графическом выражении имеет ступенчатую форму; число ступеней при этом соответствует числу пространственных этапов развития карьера.

6. Доказано, что продолжительность реконструкции карьера, заключающаяся в расширении одного или нескольких участков борта, определяется промежутком времени от начала работ на погашенном борту до создания на каждом из уступов рабочих площадок минимально допустимых размеров. В случае этапной разработки горные работы по расширению рабочих площадок производятся в течение всего срока эксплуатации карьера, за исключением первого этапа и периода доработки.

7. Доказано, что максимальная глубина первого этапа имеет ограничение по эксплуатационному коэффициенту вскрыши второго этапа, который не должен превышать коэффициента вскрыши третьего этапа или граничного коэффициента вскрыши при отработке в два этапа.

8. Предлагаемый способ отработки месторождения двумя сближенными участками карьера позволяет реализовать этапную отработку. Этап характеризуется тем, что во время его функционирования внутри рабочей зоны формируется временно нерабочий борт с углом откоса близким к углу откоса борта на конец его отработки. Таким образом, внутри этапа формируется временный контур карьера. Такой подход позволяет перенести горные работы по удалению максимального объема вскрышных пород на более поздние периоды.

9. При отработке двух участков карьера с равной скоростью углубки предполагается равенство глубин этапов на них. В течении работ на первом участке со скоростью углубки меньшей, чем скорость углубки на втором участке, глубина последующего этапа

отработки относительно глубины текущего этапа должна быть меньше, чем отношение величин квадрата скорости углубки второго участка к первому обрабатываемому участку карьера.

10. Установлено, что, когда на первом участке отработка ведется со скоростью углубки большей, чем скорость углубки на втором участке, тогда глубина последующего этапа отработки относительно глубины текущего этапа не должна превышать величины, характеризующей отношение скоростей углубки на первоочередном участке к второочередному участку карьера.

11. Доказано, что с отработкой каждого последующего этапа увеличивается глубина карьера, сроки отработки новых периодов, при этом текущий коэффициент вскрыши остаётся постоянным.

12. Установлено, что при использовании предлагаемой методики и ставке дисконтирования в 12% окупаемость инвестиционного проекта отработки меднорудного месторождения достигается уже в первый год его функционирования. Ожидаемый чистый дисконтированный доход от реализации инвестиционного проекта составит 62 млрд. руб. за 21 год оценки. Относительная экономическая эффективность разделения карьера на этапы тем больше, чем больше угол падения залежи и меньше её мощность.

13. Результаты диссертационной работы в дальнейшем могут быть использованы при проектировании и планировании разработки рудных крутопадающих протяженных месторождений этапами.

14. Направлением дальнейших исследований являются оценка метода отработки рудных крутопадающих месторождений этапами с помощью трехмерного моделирования временно нерабочего борта в карьере, а также применение нейросетевых технологий с целью повышения достоверности и эффективности принимаемых решений путем оценки большего количества дополнительных экономических и горнотехнических параметров.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Фомин, С.И. Оценка бортового содержания полезного компонента при проектировании открытой разработки рудных

месторождений / С.И. Фомин, **М.П. Овсянников**, А.К. Лобынцев // Рациональное освоение недр – 2021. – № 2. – С. 56-60.

2. Пергамент, В.Х. Определение параметров безопасного производства взрывных работ на нагорных карьерах вблизи коммуникаций / В.Х. Пергамент, К.В. Бурмистров, **М.П. Овсянников**, З.Р. Даутбаев // Изв. вузов. Горный журнал. – 2018. – № 3. – С. 45-50. (№ 904 перечня, редакция от 29.03.2018).

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Burmistrov, K.V. Validation of open pit stage design in the transition periods of mining at steeply dipping mineral deposits / K.V. Burmistrov, **М.Р. Ovsyannikov** // Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2018. – №6. – pp. 20-28.

4. Fomin, S. Incremental open-pit mining of steeply dipping ore deposits / S. Fomin, V. Ivanov, A. Semenov, **М. Ovsyannikov**. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2020. – №11. – pp. 1306-1311.

Публикации в прочих изданиях:

5. Фомин, С.И. Методика сравнения вариантов открытой разработки рудных крутопадающих месторождений этапами / С.И. Фомин, **М.П. Овсянников** // Естественные и технические науки. – 2019. – №5. – С. 145-148.

6. Фомин, С.И. Особенности технологи открытой разработки крутопадающих рудных месторождений этапами / С.И. Фомин, **М.П. Овсянников** // Маркшейдерия и недропользование. – 2020. – № 1. – С. 41-44.

Свидетельство:

7. Программа для ЭВМ. Программа для расчета величины чистого дисконтированного дохода (NPV) при проектировании карьеров и анализа чувствительностей величины NPV на изменение показателей отработки. Свидетельство № 2022614340 Российская Федерация: № 2022614340: заявл. 05.03.2022: опубл. 18.03.2022 / **Овсянников М.П.**, Фомин С.И.; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 776 КБ.