

На правах рукописи

Рыжков Сергей Константинович



**ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ
РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КАРЬЕРА УПРАВЛЕНИЕМ
ШИРИНОЙ РАБОЧИХ ПЛОЩАДОК ПРИ
ПРОЕКТИРОВАНИИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ
КРУТОПАДАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Специальность 25.00.21 – Теоретические основы
проектирования горнотехнических систем*

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

Санкт-Петербург - 2020

Работа 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

Наговицын Олег Владимирович

доктор технических наук, федеральный исследовательский центр Кольский научный центр Российской академии наук, заместитель директора по научной работе

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

Защита состоится 17 декабря 2020 г. в 13 ч 00 мин на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.09 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21-я линия, д. 2, ауд. № 1163.

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

Автореферат разослан 17.10.2020 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КОВАЛЬСКИЙ
Евгений Ростиславович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности. Ширина рабочих площадок является одним из главных параметров системы разработки, оказывающих влияние на большинство показателей работы карьера. На современных карьерах, разрабатывающих крутопадающие рудные залежи большой глубины, пренебрежение закономерностями формирования рабочей зоны и необоснованное сокращение ширины рабочих площадок может привести к уменьшению производительности карьера, за которым возможна остановка горных работ.

Определение ширины рабочих площадок при проектировании карьеров осуществляется по нормам технологического проектирования. Значения ширины рабочих площадок устанавливаются на весь период эксплуатации месторождения (или период до реконструкции карьера) как постоянная или усреднённая величина. Проектные размеры площадок в карьере являются величинами расчётными, усреднёнными по длине фронта работ. В реальной практике величина этих площадок варьируется вокруг средних (расчётных) значений в силу дискретности технологических процессов.

Разработкой методов определения ширины рабочих площадок при проектировании открытой разработки месторождений занимались такие учёные как А.И. Арсентьев, С.Е. Гавришев, Н.В. Мельников, В.В. Ржевский, С.П. Решетняк, Е.Ф. Шешко, М.И. Агошков, В.С. Хохряков, О.В. Шпанский, С.И. Фомин, Г.А. Холодняков и многие другие.

Вместе с тем, существующие методы определения ширины рабочих площадок не учитывают следующих факторов:

- применение в рамках одного карьера различного оборудования как по типу действия, так и по техническим характеристикам;
- общая тенденция к увеличению глубины отработки месторождений открытым способом и, как следствие, наличие руднопородных уступов на одном горизонте;
- изменчивость производительности по полезному ископаемому и ситуации на рынке минерального сырья.

Нормирование ширины рабочих площадок в процессе разработки карьера позволит проводить стабилизацию производительности

сти по руде и усреднение эксплуатационного коэффициента вскрыши, а также повысить надежность и эффективность проектных решений.

Цель работы. Теоретическое обоснование методов формирования рабочей зоны карьера путем управления шириной рабочих площадок с учетом динамики ее формирования в пространстве и во времени и горнотехнических особенностей отработки крутопадающих рудных месторождений, позволяющих обеспечить стабилизацию производительности и усреднение эксплуатационного коэффициента вскрыши, повышение надежности и эффективности проектных решений.

Идея работы. Формирование рабочей зоны карьера путем управления шириной рабочих площадок должно проводиться с учетом горнотехнических особенностей открытой разработки крутопадающих рудных месторождений на основе разработанного метода неравномерного распределения резервной ширины рабочих площадок по глубине рабочей зоны, позволяющего повысить эффективность и достоверность проектных решений.

Основные задачи исследования.

1. Анализ современного состояния и перспектив развития методов определения ширины рабочих площадок при проектировании карьеров с учетом горнотехнических особенностей крутопадающих рудных месторождений.

2. Анализ чувствительности параметров и показателей открытой разработки крутопадающих рудных месторождений.

3. Оценка стохастического характера исходных данных при определении ширины рабочих площадок при проектировании карьеров.

4. Разработка метода стабилизации производительности крутопадающих рудных карьеров и усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши.

5. Разработка метода формирования рабочей зоны глубоких рудных карьеров при нормативном подвигании уступов.

Научная новизна работы:

1. Установлен критерий нормирования резервной полосы рабочей площадки при проектировании карьеров, разрабатывающих крутопадающие рудные месторождения.
2. Обоснован метод повышения надёжности горных работ рудных карьеров управлением шириной рабочих площадок.
3. Установлен закон распределения ширины рабочих площадок карьеров, обрабатывающих крутопадающие железорудные месторождения.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Разработан метод определения ширины рабочих площадок при проектировании карьеров с учетом горнотехнических особенностей разработки крутопадающих рудных месторождений.
2. Разработан метод формирования рабочей зоны рудных карьеров путем управления распределением резервной ширины рабочих площадок по рабочим уступам.

Методология и методы исследования.

Системный подход, представляющий собой совокупность анализа и обобщения исследований ученых в области отработки месторождений, технологии и комплексной механизации, объединения производственной и теоретической практик, мониторинг технологических процессов рудных карьеров; системный анализ структуры, характеристик, свойств технологических комплексов и звеньев карьеров, обрабатывающих крутопадающие рудные месторождения; математическая статистика.

Положения, выносимые на защиту:

1. При проектировании карьеров необходимо проводить неравномерное распределение по высоте рабочего борта резервной полосы рабочей площадки с учетом горнотехнических особенностей крутопадающих рудных месторождений, позволяющее повысить экономическую эффективность реализации проекта и надежность принимаемых проектных решений.
2. Стабилизация производительности карьера по руде и усреднение эксплуатационного коэффициента вскрыши должны проводиться путем неравномерного распределения резервной ширины рабочих площадок по глубине карьера с учетом закономерностей

формирования рабочего борта и надёжности работы системы-карьер, позволяющих повысить эффективность и достоверность проектных решений.

3. Принятие проектных решений по ширине рабочих площадок на предварительной стадии проектирования открытой разработки крутопадающих рудных месторождений по данным карьеров-аналогов необходимо проводить с учётом установленного вида лог-нормального закона распределения ширины резервной полосы, позволяющего рассматривать наиболее вероятную область её изменения.

Достоверность полученных результатов подтверждается рациональным применением основополагающих тезисов открытых горных работ, использованием персональных компьютеров как средства воплощения математического моделирования; всеобъемлющим привлечением проектных и экспериментальных данных о разработке карьеров-аналогов; использованием информационного поля о динамике и развитии рынка минерального сырья; внедрением практических результатов научных трудов в процесс планирования и проектирования горных работ.

Предполагаемое внедрение.

Разработанные методы, полученные в результате исследования, могут быть внедрены в проектных организациях и на карьерах по открытой разработке Костомукшского железорудного крутопадающего месторождения или месторождениях-аналогов.

Апробация результатов.

Основные защищаемые научные положения данной работы подробно рассматривались в различных статьях, обсуждались за круглыми столами, докладывались на международной научно-практической конференции, посвященной 185-летию кафедры "Горное искусство" Горное дело в XXI веке: Технологии, наука, образование (Санкт-Петербург, Горный университет, октябрь 2017 г.); международном форуме горняков и металлургов (Германия, г. Фрайберг, ТУ «Фрайбергская горная академия», июнь 2018 г.); IV международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (Санкт-Петербург, Горный университет, октябрь 2018 г.).

Личный вклад автора заключается в разработке методов определения ширины рабочих площадок при проектировании карьеров с учетом горнотехнических особенностей разработки крутопадающих рудных месторождений; оценке стохастического характера исходных данных при определении ширины рабочих площадок при проектировании карьеров; анализе чувствительности параметров и показателей открытой разработки крутопадающих рудных месторождений; анализе современного состояния и перспектив развития методов определения ширины рабочих площадок при проектировании карьеров с учетом горнотехнических особенностей крутопадающих рудных месторождений.

Публикации по работе. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 9 печатных работах, в том числе в 3 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), из них 1 статья в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus; в 1 статье - в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus; получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них и заключения. Диссертация изложена на 134 страницах, содержит 15 таблиц, 24 рисунка и список литературы из 110 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимости исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведён анализ современного состояния и перспектив развития методов определения ширины рабочих площадок при проектировании карьеров, а также анализ методологии проектирования параметров открытой разработки крутопадающих рудных месторождений.

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. Анализ чувствительности заключается в определении переменных, наиболее сильно влияющих на значение ширины рабочей площадки путем установления показателя эластичности каждого элемента.

В третьей главе представлен метод формирования рабочей зоны карьера управлением шириной рабочих площадок при проектировании открытой разработки крутопадающих рудных месторождений, а также метод стабилизации производительности рудного карьера и усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши.

В четвертой главе Проведена оценка эффективности проектных решений для карьеров ОАО «Карельский окатыш» и выполнено сравнение с предлагаемым вариантом.

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях.

1. При проектировании карьеров необходимо проводить неравномерное распределение по высоте рабочего борта резервной полосы рабочей площадки с учетом горнотехнических особенностей крутопадающих рудных месторождений, позволяющее повысить экономическую эффективность реализации проекта и надежность принимаемых проектных решений.

Горные выработки на уступе всегда находятся в зависимости от отработки вышележащего уступа, что служит иллюстрацией закона, характеризующего соразмерное развитие работ.

Установлено, что выражением взаимосвязи между горизонтальным подвиганием и углубкой являются зависимости (1) и (2)

$$h_z \leq \frac{v}{ctg\varphi + ctg\beta}, \text{ м/год,} \quad (1)$$

$$h'_z \leq \frac{v'}{ctg\varphi_1 + ctg\beta}, \text{ м/год,} \quad (2)$$

где h_z, h'_z - скорость углубки карьера со стороны висячего и лежащего боков залежи соответственно, м/год; v, v' - горизонтальная скорость подвигания рабочих уступов в сторону висячего и лежащего боков залежи соответственно, м/год; β - угол направления углубки карьера, град.; φ, φ_1 - углы откоса рабочего борта со стороны висячего и лежащего боков залежи соответственно, град.

Ширина резервной полосы является критерием ослабления взаимного влияния смежных уступов при ведении горных работ.

Регулирование ширины рабочей площадки при соблюдении закономерностей формирования карьерного пространства позволяет формировать рабочую зону карьера, соответствующую максимальной надежности ведения горных работ.

Вместе с тем, изменение ширины рабочих площадок в меньшую сторону до значения меньше минимальной ширины приводит к нарушению стандартной работы карьера. На горизонтах, где ширина рабочих площадок меньше или равна минимальной величине, возобновить горные работы крайне затруднительно. В этом случае экскаваторный комплекс вынужден переходить на работу по тупиковой схеме погрузки, что означает снижение производительности от 5 до 15%. В данный отрезок времени невозможно продолжать работы на нижележащем уступе до тех пор, пока ширина рабочей площадки не будет увеличена до минимальной.

Таким образом, надёжность работы горного комплекса и его технико-экономические показатели зависят от распределения ширины рабочих площадок по уступам рабочего борта в пространстве и во времени отработки.

Критерием нормирования ширины резервной полосы является максимальная надежность работы горнодобывающего комплекса, которая достигается при максимальном значении количества готовых к выемке запасов на верхних добычных горизонтах и минимальном количестве вмещающих пород на нижнем горизонте.

Метод формирования рабочей зоны рудных крутопадающих месторождений управлением распределения резервной ширины рабочих площадок по уступам заключается в следующем:

1. На стадии, когда на новый горизонт проведены въездная и разрезная траншеи и создан фронт работ для подвигания уступа, проводят расчет с целью определения нормированной скорости перемещения уступов с условием поддержания наименьшей ширины рабочих площадок по фактору безопасности.

2. На плане горных работ, отображающем вскрышные и добычные работы, когда на новый горизонт проведены въездная и разрезная траншеи и создан фронт работ для подвигания уступа, изображают границы текущего положения горных работ, характеризующие расчеты, выполненные в первом пункте.

3. Устанавливают количество добытого полезного ископаемого и изъятого количества пустых пород при нормированном подвигании уступов и при подвигании уступов при выполнении заданной производительности.

4. Определяют величину сокращения ширины рабочей площадки на всех горизонтах и проводят ее неравномерное распределение по всем уступам в карьере с учетом горнотехнических особенностей крутопадающих рудных месторождений, позволяющих повысить эффективность и надежность принимаемых решений.

5. На плане горных работ, отображающем вскрышные и добычные работы, когда на новый горизонт проведены въездная и разрезная траншеи и создан фронт работ для подвигания уступа, наносят положение добычных уступов с учетом пункта 4 и определяют количество вскрыши, которое требуется удалить для достижения данного положения добычных уступов.

6. Проводят неравномерное распределение опережения вскрыши по высоте карьера на основании расстановки горно-транспортного оборудования с условием установления максимальной надежности работы системы-карьер.

В масштабах карьера количество руды в резервной полосе рабочих площадок выражается в готовых к выемке запасах на момент полной подготовки горизонта.

С помощью описанного метода установлено, что фактически существующий объем готовых к выемке запасов на Корпангском карьере является избыточным. Экономически целесообразный нормативный объем готовых к выемке запасов, заключенный в резервной области рабочей площадки, составляет 1124,57 тыс. т.

2. Стабилизация производительности карьера по руде и усреднение эксплуатационного коэффициента вскрыши должны проводиться путем неравномерного распределения резервной ширины рабочих площадок по глубине карьера с учетом закономерностей формирования рабочего борта и надёжности работы системы-карьер, позволяющих повысить эффективность и достоверность проектных решений.

Для стабилизации производительности карьера управлением шириной рабочих площадок можно воспользоваться графиком $P=f(T)$ нарастающих объемов добычи полезного ископаемого во времени (рисунок 1).

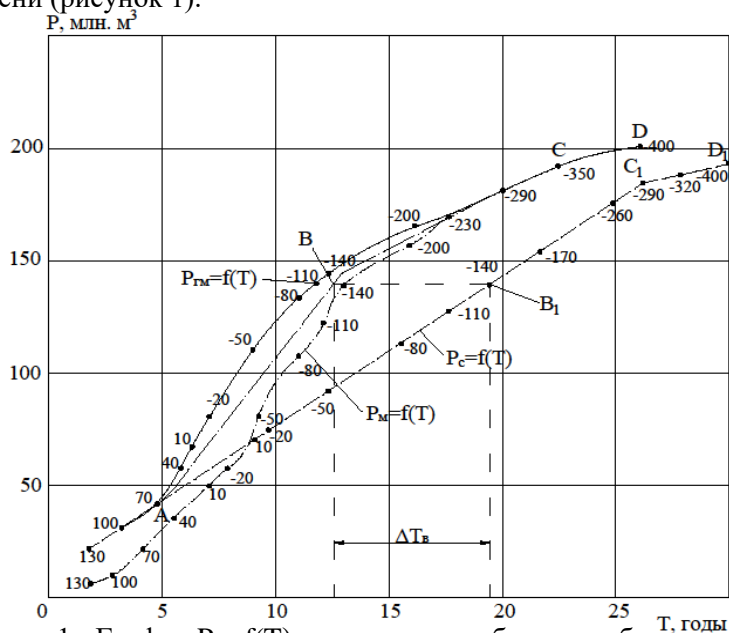


Рисунок 1 - График $P = f(T)$ нарастающих объемов добычи полезного ископаемого во времени

Значение ширины рабочих площадок на карьерах в значительной мере определяет экономическую эффективность открытой разработки месторождения. Ширина рабочих площадок, как правило, имеет специальную полосу для поддержания надежной работы карьера.

Следуя классификации запасов по степени подготовленности, разработанной А.И. Арсентьевым, можно заключить, что готовые к выемке запасы представляют собой резервную полосу рабочих площадок.

График строится по двум направлениям: первое – разработка месторождения с минимальной шириной рабочих площадок – кривая $P_M=f(T)$ и второе - разработка месторождения с максимальным извлечением горной массы – кривая $P_{ГМ}=f(T)$.

Для стабилизации можно воспользоваться областью между кривыми: строятся два начальных периода стабилизации (периоды АВ и ВС, период CD – затухание работ), затем необходимо точку «В» переместить параллельно оси абсцисс, чтобы угол наклона прямой АВ₁ стал равным углу наклона прямой ВС.

Разность (ΔP_H) в извлекаемых объемах для вариантов максимального извлечения горной массы $P_{ГМ}=f(T)$ и стабилизированной производительности $P_C=f(T)$ имеет вид (3)

$$\Delta P_H = \sum_{i=1}^n (\Delta B_i \cdot L_{pi} \cdot h) = \Delta B'_1 \cdot L_{p1} \cdot h + \Delta B'_2 \cdot L_{p2} \cdot h + \dots + \Delta B'_{in} \cdot L_{pn} \cdot h, \text{ м}^3, \quad (3)$$

где $\Delta B'_{in}$ - значение сокращения размера рабочих площадок n-го уступа в случае со стабилизированной производительностью, м; L_{pn} - величина длины фронта работ по руде в зоне резерва от наклонного понижения горных работ n-го уступа, м; h - высота уступов в карьере, м; n - число добычных уступов с резервом в подвигании за счет наклонного понижения горных работ.

Изменить положения горных выработок для ведения работ со стабилизированной производительностью возможно за счет сокращения резервной полосы рабочих площадок. Распределения данного сокращения по высоте карьера должно осуществляться с учетом следующих законов формирования рабочей зоны:

1. Недопущение превышения сокращения подвигания рабочих площадок нижележащего уступа над вышележащим.

2. Превышение или равенство ширины рабочих площадок вышележащих уступов над нижележащим для варианта стабилизированной производительности по руде в области резерва от наклонного понижения горных работ.

3. Превышение значения ширины рабочих площадок при стабилизированной производительности относительно минимальной ширины рабочих площадок.

4. Недопущение превышения извлечения погоризонтных объемов добычи, составляющих разность в извлекаемых объемах нижележащих уступов над вышележащими.

Для усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши необходимо построить график нарастающего количества вмещающих пород от нарастающего количества руды по мере углубки $V=f(P)$ (рисунок 2).

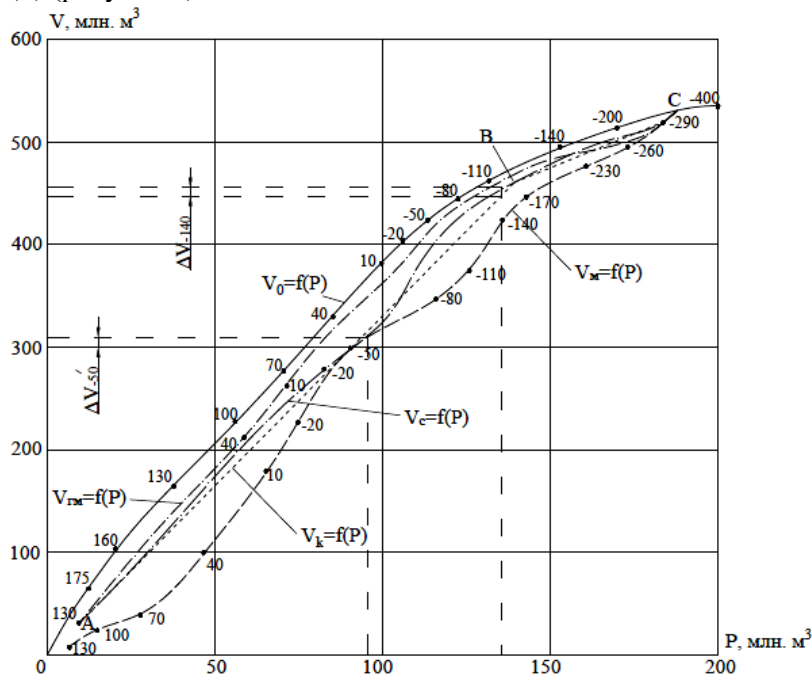


Рисунок 2 – График $V = f(P)$ нарастающего количества вмещающих пород от нарастающего количества руды

Построение графика осуществляется в соответствии с положениями горных выработок, отвечающими стабилизированной производительности в момент полной подготовки горизонта.

Разница в извлекаемых объемах вскрыши при стабилизации производительности по руде и усреднению эксплуатационного коэффициента вскрыши определяется по формуле (4)

$$\Delta V_H = \Delta B'_{B1} \cdot L_{B1} \cdot h + \Delta B'_{B2} \cdot L_{B2} \cdot h + \Delta B'_{B3} \cdot L_{B3} \cdot h + \dots + \Delta B'_{Bn} \cdot L_{Bn} \cdot h, \quad (4)$$

где $\Delta B'_{B1}, \Delta B'_{B2}, \Delta B'_{Bn}$ - величина сокращения ширины рабочих площадок 1-го, 2-го, n-го уступа по вскрыше в зоне резерва при работе с усредненным эксплуатационным коэффициентом вскрыши по сравнению со случаем стабилизированной производительности по руде, м; $L'_{B1}, L'_{B2}, L'_{Bn}$ - длина фронта работ по вскрыше в области запаса от наклонного понижения горных работ 1-го, 2-го, n-го уступа, м; h - высота уступов на карьере, м; n - число уступов, имеющих фронт работ по вскрыше в области запаса от наклонного понижения горных работ.

Установление значения уменьшения подвигания рабочих площадок на вскрышных уступах должно реализовываться по аналогии с алгоритмом при стабилизации производительности по руде.

Для оценки эффективности реализации неравномерного распределения ширины резервной полосы по высоте борта Корпангского карьера Костомукшского месторождения сотрудниками кафедры РМПИ Горного университета был разработан программный продукт FS-MAFMO12, позволяющий определять величину риска инвестиций, значение внутренней ставки дохода, чистый дисконтированный доход. Ожидаемый экономический эффект по сравнению с проектным вариантом расположения горных выработок Корпангского карьера составит 144,78 млн.руб.

3. Принятие проектных решений по ширине рабочих площадок на предварительной стадии проектирования открытой разработки крутопадающих рудных месторождений по данным карьеров-аналогов необходимо проводить с учётом установленного вида логнормального закона распределения ширины резервной полосы, позволяющего рассматривать наиболее вероятную область её изменения.

Для увеличения достоверности принятия решений на стадии проектирования требуется учитывать стохастический характер начальных данных.

Параметры и законы распределения ширины рабочих площадок возможно выявить в процессе статистической обработки данных, которые были получены на действующих карьерах, разрабатывающих крутопадающие рудные месторождения.

В качестве базы данных для последующей оценки было получено 844 значений ширины рабочей площадки по руде и 1025 по породе. По результатам измерений построена гистограмма распределения ширины рабочих площадок (рисунок 3).

На рисунке 3 можно заметить отчетливое ассиметричное распределение исследуемой величины. Вариационные ряды с таким распределением принадлежат к логарифмически нормальным (лог-нормальным) законам распределения, где значения логарифмов случайной величины подчиняются нормальному распределению.

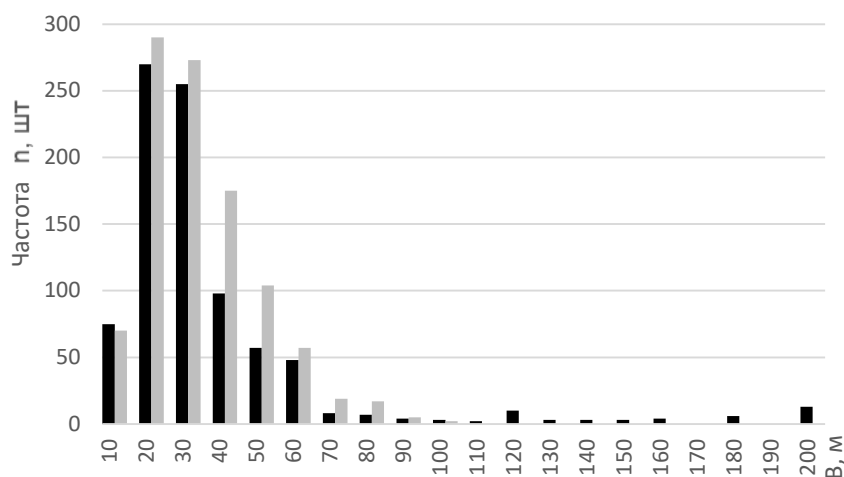


Рисунок 3 - Гистограмма распределения ширины рабочих площадок рудного карьера: черный цвет- по руде, серый цвет – по породе.

Результатом обработки статистической базы данных является определение характеристик случайной величины, то есть математического ожидания, эмпирического среднего значения, нормированных показателей асимметрии и эксцесса, центральных моментов распределения.

По данным величинам характеристик устанавливаются параметры основных законов распределения.

Логнормальный закон распределения может характеризоваться плотностью вероятности, которая в частном случае имеет вид (5)

$$f(B) = \frac{1}{B\sigma_{\ln}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln B - \bar{B}_{\ln})^2}{2\sigma_{\ln}^2}}, \quad (5)$$

где B - ширина рабочей площадки.

Владея функцией плотности вероятности распределения, становится возможным установление вероятности того, что непрерывная случайная величина – ширина рабочей площадки, примет величину, соответствующую заданному интервалу.

Данная вероятность является определенным интегралом от дифференциальной функции (6), взятой в пределах от B_1 до B_2

$$P(B_1 < B_i < B_2) = \int_{B_1}^{B_2} f(B)dB \quad (6)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи - обоснование и разработка методов формирования рабочей зоны карьера путем управления шириной рабочих площадок при проектировании открытой разработки крутопадающих рудных месторождений, позволяющих повысить эффективность и надежность проектных решений.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. Нормирование ширины резервной полосы рабочих площадок для условий открытой разработки рудных крутопадающих ме-

сторождений должно осуществляться с учетом следующих факторов:

- при проектировании карьеров необходимо проводить неравномерное распределение по высоте рабочего борта резервной полосы рабочей площадки;
- для повышения надежности работы карьера необходимо иметь постоянный оптимальный переходящий объем запасов по степени подготовленности к выемке, включающий долю запасов на компенсацию дефицита в периоды преобладания их уменьшения над приростом, долю запасов на погашение возможных ошибок в прогнозировании запасов и в планировании горных работ и долю запасов на обеспечение работы последующих звеньев карьера;
- поддержание в течение всего срока жизни карьера ширины рабочих площадок на рабочем борту карьера, позволяющей вести безопасную работу горно-транспортного оборудования.

2. Фактически существующий объем готовых к выемке запасов Корпангского месторождения является избыточным. Экономически целесообразный нормативный объем готовых к выемке запасов, заключенный в резервной области рабочей площадки, составляет $H_T = 1124,57$ тыс.т.

3. Проведен анализ чувствительности параметров и показателей открытой разработки крутопадающих рудных месторождений при определении ширины рабочей площадки. Угол откоса уступа, мощность залежи, граничный коэффициент являются переменными, наиболее сильно влияющими на конечный результат.

4. Установлено, что значения ширины рабочих площадок карьеров, отрабатывающих крутопадающие месторождения руды, подчиняются логнормальному закону распределения.

5. Применение метода определения количества добычных экскаваторов, одновременно учитывающего требование по усреднению качества руды и требование о достижении проектной производительности, позволяет снизить колебания качества руды, поступающей на обогатительную фабрику.

6. Разработан метод стабилизации производительности рудного карьера и усреднения эксплуатационного коэффициента

вскрыши для условий открытой разработки рудных крутопадающих месторождений.

7. Разработан метод формирования рабочей зоны рудных крутопадающих месторождений путем управления распределением резервной ширины рабочих площадок по рабочим уступам. Максимальная надежность горнодобывающего комплекса достигается при таком взаимном расположении уступов, когда в поперечном сечении добычные уступы принимают выпуклую форму, а вскрышные вогнутую. При этом разработка технологических схем работы горно-транспортного оборудования на сформированных рабочих площадках является перспективным направлением развития темы диссертации.

8. Разработано программное обеспечение FS-MAFMO12, позволяющее обоснованно и оперативно принимать проектные решения в условиях ограниченного объема исходной информации и его стохастического характера, а также оценивать экономическую эффективность открытой разработки месторождений.

9. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов по нормированию ширины резервной полосы рабочих площадок и ее распределению во времени и по высоте рабочего борта в проектную документацию разработки Корпангского карьера составит 144,78 млн.руб.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации:

Публикации в изданиях из Перечня ВАК

1. Фомин, С.И. Оценка стохастического характера исходных данных для определения ширины рабочих площадок / С.И. Фомин, С.К. Рыжков // научно-технический и производственный журнал «Маркшейдерия и Недропользование». Москва. - 2018. - №6. - С. 42-48.

2. Фомин, С.И. Стабилизация производительности управлением шириной рабочих площадок при проектировании карьеров / С.И. Фомин, А.О. Родионов, С.К. Рыжков // журнал «Рациональное освоение недр». Москва. - 2020. - №3. – С. 66-70.

3. Фомин, С.И. Определение высоты уступов при открытой разработке крутопадающих месторождений с учетом потерь и разу-

боживания руды / С.И. Фомин, А.О. Родионов, С.К. Рыжков // научно-технический журнал: «Горный информационно-аналитический бюллетень». Москва. - 2019. - №4 (специальный выпуск 7). - С. 333-344.

Публикация в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования (Scopus)

4. Fomin, S.I. Determining height of benches in open mining of steeply-dipping deposits with consideration of ore losses and dilution / S.I. Fomin, A.O. Rodionov, S.K. Ryzhkov // International journal of civil engineering and technology. India. - 2019. - №5 (10). - С. 312-319.

Публикации в прочих изданиях

5. Рыжков, С.К. Анализ чувствительности параметров и показателей системы разработки на предварительной стадии проектирования карьеров / С.К. Рыжков, А.О. Родионов // международное научное периодическое издание по итогам международной научно-практической конференции «Новая наука: проблемы и перспективы». Стерлитамак. - 2017. - №3. - С. 62-67.

6. Фомин, С.И. Повышение безопасности горных работ при отработке приконтактной зоны «порода-руда» на сложноструктурных золоторудных месторождениях / С.И. Фомин, А.О. Родионов, С.К. Рыжков // сборник тезисов: «IV Международная научно-практическая конференция: «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке». Санкт-Петербург. - 2018. – С. 139-140.

7. Рыжков, С.К. Анализ чувствительности параметров рудных карьеров, влияющих на ширину рабочей площадки / С.К. Рыжков, А.О. Родионов // сборник статей XXIX Международной заочной конференции «Развитие науки в XXI веке». Харьков. - 2017. - №1. - С. 46-51.

8. Рыжков, С.К. Анализ чувствительности параметров рудных карьеров на предварительной стадии проектирования / С.К. Рыжков, А.О. Родионов // тезисы докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 185-летию кафедры «Горное искусство». Санкт-Петербург. - 2017. - С. 73-75.

9. Фомин, С.И. Определение оптимальных потерь полезных ископаемых при открытой разработке рудных месторождений / С.И.

Фомин, А.О. Родионов, С.К. Рыжков // научно-технический и производственный журнал «Маркшейдерия и Недропользование». Москва. - 2019. - №3. - С. 60-64.

Программа для ЭВМ:

1. Программа для ЭВМ № 2018619871 Российская Федерация, программа определения объемов добычи и направления выемки при открытой разработке месторождения известняка : заявлено 26.07.2018 : опубликовано 14.08.2018 / А.С. Семенов, А.О.Родионов, С.К. Рыжков – С. 12.