

*На правах рукописи*

**РОСЛАВЦЕВА Юлия Геннадьевна**



**ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ГОРНЫХ РАБОТ  
ПРИ ПОЭТАПНОЙ РАЗРАБОТКЕ  
МАЛЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ**

*Специальность 25.00.21 – Теоретические основы проектирования  
горнотехнических систем*

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

**Санкт-Петербург - 2015**

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Иркутский государственный технический университет».

*Научные руководители:*

доктор технических наук, профессор

Федорко Владимир Павлович

доктор технических наук, профессор

*Дудинский Федор Владимирович*

*Официальные оппоненты:*

*Косолапов Александр Иннокентьевич*

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», кафедра «Открытые горные работы», профессор

*Ишкулова Индира Анваровна*

кандидат технических наук, ООО «СПб-Гипрошахт», отдел открытых работ, руководитель сектора

*Ведущая организация - Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов (ОАО Иргиредмет)*

Защита диссертации состоится 9 июня 2015 г. в 11 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.09 при «Национальном минерально-сырьевом университете «Горный» по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д. 2, ауд. 1163.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального минерально-сырьевого университета «Горный» и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).

Автореферат разослан 8 апреля 2015 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



Фомин  
Сергей Игоревич

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность.** Устойчивость минерально-сырьевой базы страны характеризуется балансом между добычей и приростом запасов полезного ископаемого. Более быстрое освоение и воспроизводство минеральных ресурсов возможно за счет малых месторождений, включающих мелкие и средние по запасам объекты ограниченных линейных размеров, что при достаточной производительности карьера позволяет отрабатывать их за период не более 10 лет. По данным различных источников в настоящее время доля малых месторождений золота (с запасами до 3 т) составляет - 78%, строительного камня - 82% и песчано-гравийных материалов - 87%.

Созданные еще в 50 – 60-х годах прошлого столетия методы горно-геометрического анализа карьерных полей и установления режимов горных работ развиваются до настоящего времени, т.к. тесно связаны с долгосрочными программами, определяющими финансово – экономическое состояние горных предприятий.

При проектировании открытых горных работ объемы подготовленных запасов, а значит объемы горно-капитальных работ, до настоящего времени определяются в соответствии с нормативными материалами пропорционально производственной мощности предприятия. Освоение же малых месторождений имеет ряд особенностей, самые значительные из них, на наш взгляд, следующие:

- непродолжительное время существования предприятия, соизмеримое со сроком службы оборудования;
- относительно жесткий характер влияния показателей начального периода на конечный результат.

Эти особенности требуют более обоснованного количественного и структурного определения объемов горно-капитальных работ, и поэтому разработка методов проектирования для условий малых месторождений, позволяющих обосновывать параметры системы разработки и устанавливать соотношения объемов при подготовке и эксплуатации по критериям, учитывающим совокупность объемных, временных и экономических факторов, становится актуальной исследовательской задачей.

**Цель диссертации** – обоснование и разработка метода распределения объемов горных работ при поэтапной разработке малых

месторождений открытым способом, обеспечивающего повышение эффективности проектных решений.

**Идея работы** заключается в том, что распределение объемов горных работ при поэтапной разработке следует проводить с учетом горнотехнических особенностей малых месторождений и разработанных методик проведения горно-геометрического анализа.

**Задачи исследования.**

1. Адаптация существующих и разработка новых методов горно-геометрического анализа для малых месторождений, позволяющих оперативно корректировать принятые проектные решения.

2. Анализ методов и способов определения объемов горно-капитальных работ.

3. Разработка метода определения объемов ГКР, адаптированного к условиям малого месторождения.

4. Обоснование рационального режима горных работ с учетом объемов горно-капитальных работ и динамики производства.

**Основные научные положения, представляемые к защите:**

1. При выполнении горно-геометрического анализа пологих и горизонтальных месторождений необходимо устанавливать область регулирования режима горных работ, что позволяет учитывать изменения направления первоначального фронта горных работ и управлять параметрами элементов системы разработки.

2. Обоснование объемов горно-капитальных работ должно основываться на оценке распределения объемов горной массы в процессе отработки по критерию приведенной минимальной суммы первоначального и текущих годовых (поэтапных) коэффициентов вскрыши, что позволяет учитывать фактор времени.

3. Выбор рационального распределения объемов горных работ по максимальному значению этапного чистого дисконтированного дохода расширяет информативность области возможных решений и позволяет прогнозировать основные экономические и эксплуатационные показатели на любой момент времени.

**Методы исследований.** Теоретическая и методологическая основа работы состоит в анализе и обобщении трудов ученых в области проектирования разработки месторождений открытым способом и изучении способов обоснования объемов горно-подготовительных

работ. Основными методами исследований, используемых в диссертационной работе, являются горно-геометрический анализ карьерных полей, динамическое программирование, технико-экономический анализ вариантов разработки месторождений.

**Достоверность научных положений**, выводов и рекомендаций подтверждается применением современных научных методов исследования, динамического программирования; привлечением проектных и фактических материалов по открытым горным работам; внедрением результатов исследований в проектирование разработки малых месторождений.

**Научная новизна работы:**

– установлено, что при проведении горно-геометрического анализа для пологих горизонтальных месторождений необходимо формировать расширенную область регулирования режима горных работ, что позволяет выбирать рациональные параметры элементов системы разработки;

– выявлен степенной характер зависимости показателей эффективности (индекса доходности, чистого дисконтированного дохода) от первоначального коэффициента вскрыши.

**Практическая ценность работы**

– разработана методика проведения горно-геометрического анализа для месторождений с пологими и горизонтальными залежами при транспортной или комбинированной системах разработки;

– предложена методика горно-геометрического моделирования горных работ применительно к малым крутопадающим месторождениям;

Разработанные расчетные методики могут применяться при технико-экономическом обосновании разработки малых месторождений и выполнении проектной документации.

**Личный вклад автора** состоит в:

– постановке и обосновании цели работы, в выборе объекта исследования, определении взаимосвязанных задач и их решении;

– корректировке метода горно-геометрического анализа применительно к малым крутопадающим месторождениям;

– разработке методики проведения горно-геометрического анализа для горизонтальных залежей при транспортной и комбинированной системах разработки;

– доказательстве целесообразности использования в качестве критерия при выборе рационального режима горных работ суммы текущих поэтапных коэффициентов вскрыши с учетом фактора времени;  
– разработке методики обоснования объемов горных работ при освоении малых месторождений.

**Реализация и апробация результатов работы.** Основные положения диссертационной работы в целом и отдельные ее положения докладывались, обсуждались на конференциях «Игошинские чтения» (Иркутск, 2005-2012 гг.), «Проблемы безопасности современного мира: средства и технологии» (Иркутск 2008, 2010 г.г.), II межрегиональной научно-практической конференции «Современный подход к построению системы безопасности труда в горнодобывающей промышленности» (Черемхово, 2010 г.), III Международной научно-практической конференции «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий» (Санкт-Петербург, 2012 г.) и на заседаниях кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Иркутского государственного технического университета. Результаты диссертационной работы реализованы в учебной программе курса «Проектирование карьеров», при разработке рекомендаций по выбору оптимального варианта распределения объемов горных работ для бурогоугольного месторождения Окино-Ключи.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 8 работ, из них 4 в изданиях, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 126 страниц, 19 таблиц, 33 рисунка и библиографический список из 75 наименований.

Диссертационная работа посвящается памяти В.П. Федорко, при непосредственном участии которого определились общие направления исследований, цель и задачи работы.

Автор выражает искреннюю благодарность за помощь в успешном завершении работы проф. Ф.В. Дудинскому проф. Б.Л. Тальгамеру, доц. З.А. Орловой и сотрудникам кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО ИрГТУ

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Основной теоретической базой при написании работы послужили работы ведущих ученых в области горного дела: М.И. Агошкова, Ю.И. Анистратова, А.И. Арсентьева, Ж.В. Бунина, К.А. Васильева, С.Е. Гавришева, В.А. Галкина, В.В. Истомина, В.С. Коваленко, В.Ф. Колесникова, Н.В. Мельникова, Н.Н. Мельникова, М.Г. Новожилова, В.В. Ржевского, М.Г. Саканцева, Б.Н. Тартаковского, П.И. Томакова, К.Н. Трубецкого, Г.А. Холоднякова, В.С. Хохрякова, В.П. Федорко, С.И. Фомина, О.В. Шпанского, Б.П. Юматова и многих др.

В первой главе представлено современное состояние минеральной базы, сделан обзор малых месторождений Восточной Сибири, рассмотрены и проанализированы особенности их разработки. Поставлена цель и определены научные задачи, решаемые в работе.

Во второй главе проведен анализ методик проведения горно-геометрического анализа и на базе существующих разработаны методики ГГА для малых крутопадающих, пологих и горизонтальных месторождений.

В третьей главе дано решение задачи обоснования объемов горно-капитальных работ.

В четвертой главе предложена методика определения оптимального режима горных работ для малых месторождений.

Основные результаты работы отражены в следующих научных положениях:

***1. При выполнении горно-геометрического анализа пологих и горизонтальных месторождений необходимо устанавливать область регулирования режима горных работ, что позволяет учитывать изменения направления первоначального фронта горных работ и управлять параметрами элементов системы разработки.***

Известные методы горно-геометрического анализа (ГГА) пологих и горизонтальных месторождений не предусматривают регулирования режима горных работ за счет изменения элементов системы разработки. Суть разработанного метода ГГА сводится к отстройке рабочих зон по этапам горных работ с различными углами откоса рабочего борта, от максимального соответствующего минимальной ширине рабочих площадок до минимального значения. По

намеченным вариантам строится график зависимости накопленных объемов вскрыши от объемов полезного ископаемого –  $V = f(P)$  (рисунок 1) и в полученной зоне регулирования выбирается график рационального режима горных работ.

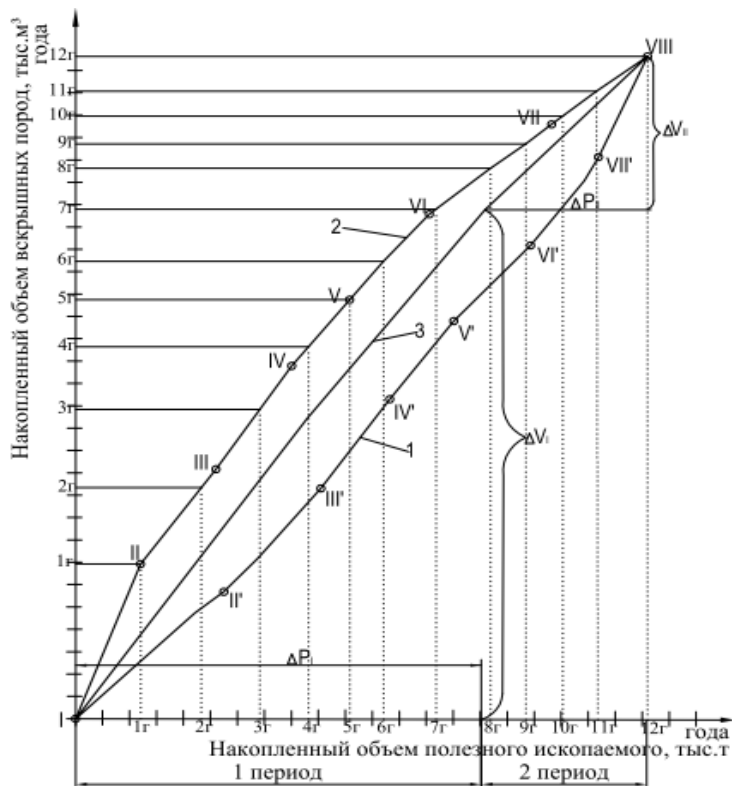


Рисунок 1 – График соотношения накопленных объемов вскрышных пород и полезного ископаемого  $V = f(P)$ : 1 – накопленные объемы вскрышных пород и полезного ископаемого для минимальных рабочих площадок; 2 – накопленные объемы вскрышных пород и полезного ископаемого при максимальном угле рабочего борта; 3 – кривая выбранного варианта распределения объемов горных работ



Применительно к малым наклонным и крутопадающим месторождениям из-за ограниченного рабочего пространства зона регулирования не всегда достаточна для оптимизации решения, рисунок 2. В проектной практике расширение области регулирования режима происходит за счет увеличения углов откосов рабочего борта до максимально допустимого и изменения ширины рабочих площадок, что влечет необходимость построения новой кривой  $V=f(P)$ , так как не в полной мере отслежено влияние схемы вскрытия на распределение объемов при работе с  $\varphi_{\max}$  и не охватывает вариант отработки карьера этапами.

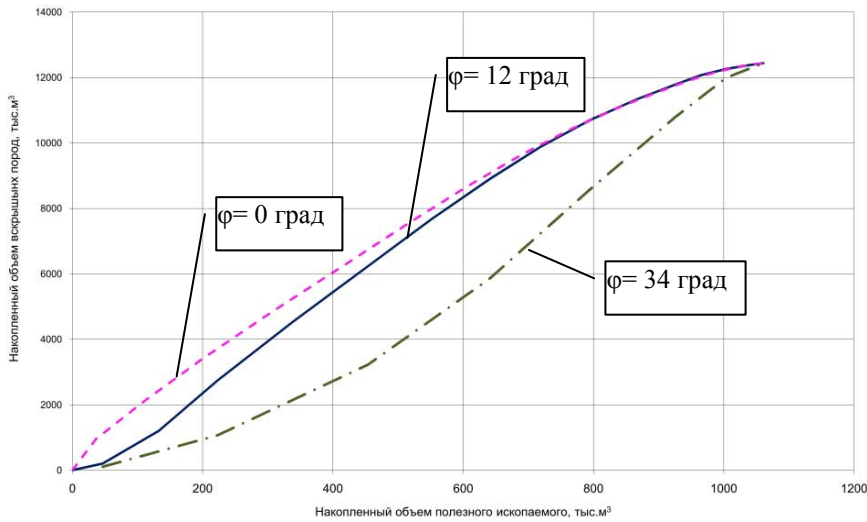


Рисунок 2 – График накопленных объемов ( $V=f(P)$ ) для золоторудного месторождения «Бол.Чанчик»:  $\varphi = 0^\circ$ ;  $\varphi = 12^\circ$ ;  $\varphi = 34^\circ$

Применительно к крутопадающим малым месторождениям расширение области регулирования можно получить за счет увеличения угла откоса рабочего борта карьера до угла близкого к углу погашения горных работ путем разделения карьера по высоте на рабочие зоны, состоящие из нескольких уступов. Число одновременно отрабо-

тываемых уступов и ширина предохранительных площадок зависят от производительности и типа оборудования. В процессе применения данного метода возникает вариантность обоснования параметров карьера, вплоть до определения рациональных границ горных работ.

Предлагаемый метод был проверен для условий железорудного месторождения «Нерюндинское» и золоторудного «Бол. Чанчик». Результаты по золоторудному месторождению «Бол. Чанчик» представлены на графике накопленных объемов (рисунок 2), из которого видно, что зона регулирования значительно увеличилась.

Разработанные методы ГГА позволяют устанавливать область регулирования режима горных работ, что позволяет учитывать изменения направления первоначального фронта горных работ и управлять параметрами элементов системы разработки.

**2. Обоснование объемов горно-капитальных работ должно основываться на оценке распределения объемов горной массы в процессе отработки по критерию приведенной минимальной суммы первоначального и текущих годовых (поэтапных) коэффициентов вскрыши, что позволяет учитывать фактор времени.**

К результирующим показателям оценки эффективности принимаемых проектных решений в настоящее время относят чистый дисконтированный доход (ЧДД), внутреннюю норму доходности (ВНД), индекс доходности (ИД), соответственно отражающие абсолютную, относительную экономические эффективности и отношение ЧДД к величине капитальных вложений. Обычно чистый дисконтированный доход определяют по формуле

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (S_t - Z_t - K_t) \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (1)$$

где  $S_t$  – стоимость реализованной продукции (выручка предприятия) в  $t$ -ом году, руб;  $Z_t$  – эксплуатационные (текущие) затраты в  $t$ -ом году, руб;  $K_t$  – капитальные вложения в  $t$ -ом году, руб;  $t = 0, 1, 2 \dots$  – номер расчетного года;  $T$  – горизонт расчета (длительность периода учета эффекта от начала строительства до ликвидации предприятия), годы;  $E$  – норма дисконта (норматив приведения затрат к единому моменту времени).

Эксплуатационные затраты (3) при разработке месторождения с учетом приведения

$$Z = \sum_{t=0}^T A_{pi} (C_D + C_B K_{Bi}) \beta, \quad (2)$$

где  $A_{pi}$  – годовой объем добычи полезного ископаемого, тыс. т;  $C_D$  – себестоимость добычи 1 т полезного ископаемого, руб.;  $C_B$  – затраты на вскрышные работы, руб./м<sup>3</sup>;  $K_{Bi}$  – коэффициент вскрыши  $i$ -го периода времени (текущий поэтапный), м<sup>3</sup>/т;  $\beta$  – коэффициент приведения, для последующих за базисным моментом времени оценок  $\beta = 1/(1+E)^t$ .

Коэффициент вскрыши  $K_B$  отражает принятый порядок развития горных работ и за время отработки карьера определяется суммой первоначального  $K_{e0}$  и текущих поэтапных коэффициентов вскрыши  $K_{ei}$

$$K_e = \sum_{t=0}^T K_{e0} \cdot t_0 + K_{e1} \cdot t_1 + \dots + K_{ei} \cdot t_i, \quad (3)$$

$$Z = \sum_{t=0}^T A_{pi} C_D \beta + A_{pi} C_B (K_{e0} \cdot t_0 + K_{e1} \cdot t_1 + \dots + K_{ei} \cdot t_i) \beta. \quad (4)$$

Как видно из последнего выражения снижение эксплуатационных затрат, а соответственно увеличение прибыли, оцениваемой с учетом временного фактора, с технологических позиций может обеспечиваться управлением первоначальным и текущими коэффициентами вскрыши при общем требовании к минимизации их приведенной суммы за весь период ведения горных работ

$$\sum_{t=0}^T (K_{e0} \cdot t_0 + K_{e1} \cdot t_1 + \dots + K_{ei} \cdot t_i) \beta \rightarrow \min. \quad (5)$$

Для установления влияния объемов горно-капитальных работ (ГКР) на конечные экономические показатели освоения малых месторождений была выполнена оценка конкурирующих вариантов разработки крутопадающего золоторудного месторождения «Бол. Чанчик» и горизонтального буроугольного месторождения Окино-Ключи. При исследовании взаимосвязей объемов горно-подготовительных и эксплуатационных работ оценивалось влияние суммы первоначального и текущих коэффициентов вскрыши с учетом их приведения на ЧДД.

Предварительно выполнялся ГГА и в зоне регулирования режима устанавливался вариант горных работ. Для месторождения «Бол. Чанчик» выбран вариант горных работ, обеспечивающий работу предприятия с постоянными текущими коэффициентами вскрыши в два периода. При оценке взаимосвязи экономических показателей и первоначального коэффициента вскрыши рассматривались варианты ГКР как при одинаковых значениях инвестиций так и их изменении, таблица 1. Таблица 1 – Варианты объемов ГКР при разработке месторождения «Бол. Чанчик»

№ варианта	Объемы горно-капитальных работ	
	Объем попутной добычи, $V_{п.д.}$ , тыс. т	Объем вскрышных работ, $V_{вск.}$ , тыс. м <sup>3</sup>
1	0	744,40
2	0	216,76
3	18,4	216,76
4	0	139,16
5	18,4	139,16
6	18,4	355,92
7	0	1861,00
8	0	541,90
9	46	541,90
10	0	347,90
11	46	347,90
12	46	889,80
13	0	1500,00
14	0	1000,00
15	0	700,00

Анализ результатов расчетов при различном распределении объемов в процессе ведения горно-капитальных и эксплуатационных работ позволил установить характер взаимосвязи между ЧДД и коэффициентами вскрыши в исследуемом диапазоне распределения объемов, рисунки 3-4. Установлено, что при равнозначных инвестиционных вложениях наибольшие объемы по вскрышным породам в период ГКР (диапазон  $K_e = 0,044-0,236$ ) дают возможность выбрать вариант ведения горных работ с лучшими значениями ЧДД.

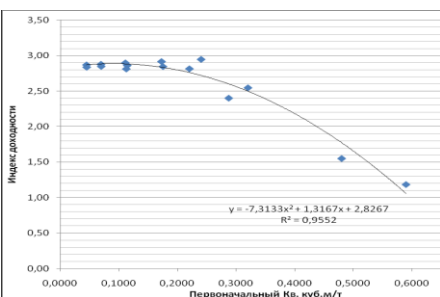
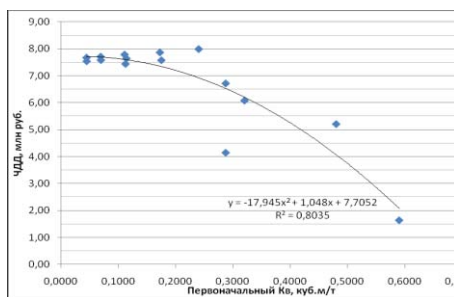


Рисунок 3 – График зависимости ЧДД от первоначального коэффициента вскрыши

Рисунок 4 – График зависимости индекса доходности от первоначального коэффициента вскрыши

Установленные взаимосвязи хорошо описываются регрессионными уравнениями:

– зависимость чистого дисконтированного дохода от первоначального коэффициента вскрыши

$$y = -17,945x^2 + 1,048x + 7,7052 \text{ при } R^2 = 0,8035 \quad (6)$$

– зависимость индекса доходности от первоначального коэффициента вскрыши

$$y = -7,3133x^2 + 1,3167x + 2,8267 \text{ при } R^2 = 0,9552 \quad (7)$$

При исследовании влияния объемов ГКР и суммарного приведенного коэффициента вскрыши на конечные показатели разработки месторождения Окино-Ключи рассмотрены варианты развития горных работ, отличающиеся длительностью этапов, объемами ГКР и попутной добычи, обеспеченностью запасами, таблица 2.

По результатам формирования поэтапных объемов определена сумма текущих коэффициентов вскрыши за весь период отработки месторождения при различных объемах ГПР и разной обеспеченностью запасами таблица 3. Анализ расчетов показывает, что наименьшие значения суммарного коэффициента вскрыши при различной обеспеченности запасами (наименьшие эксплуатационные затраты) соответствует наибольшим объемам вскрыши при выполнении горнокапитальных работ и максимальным значениям ЧДД.

Таблица 2 – Варианты объемов горно-подготовительных работ при разработке месторождения Окино-Ключи

№ варианта	Обеспеченность запасами, мес.	Объем горно-капитальных работ, тыс. м <sup>3</sup>	
		по полезному ископаемому	по вскрышным породам
1	2	27,085	100
		27,085	200
		27,085	300
2	3	32,50	100
		32,50	200
		32,50	300
3	5	54,165	100
		54,165	200
		54,165	300

Таблица 3 – Результаты расчета суммарного К<sub>в</sub> и ЧДД

Обеспеченность подготовленными запасами	Объемы ГKR по вскрышным породам, тыс. м <sup>3</sup>	1 Вариант		2 Вариант		3 Вариант	
		К <sub>в</sub>	ЧДД, млн. руб.	К <sub>в</sub>	ЧДД, млн. руб.	К <sub>в</sub>	ЧДД, млн. руб.
на 2 мес.	100	22,82	-6,42	23,99	26,81	22,80	59,65
	200	22,05	3,54	23,16	32,10	21,99	64,45
	300	21,28	12,71	22,34	37,39	21,18	69,22
на 3 мес.	100	23,28	-4,93	24,35	24,20	23,03	61,28
	200	22,48	4,30	23,51	29,71	22,21	65,98
	300	21,67	13,56	22,66	35,22	21,39	71,08
на 5 мес.	100	25,48	-2,95	26,01	10,66	24,04	66,03
	200	24,52	6,87	25,06	17,87	23,16	71,00
	300	23,57	16,03	24,12	24,08	22,29	75,03

Таким образом, при разработке малых месторождений оценить влияние ГKR на эффективность разработки месторождения и обосновать их объемы возможно при использовании в качестве критерия минимальной суммы первоначального и текущих поэтапных коэффициентов вскрыши с учетом фактора времени.

**3. Выбор рационального распределения объемов горных работ по максимальному значению этапного чистого дисконтированного дохода расширяет информативность области возможных решений и позволяет прогнозировать основные экономические и эксплуатационные показатели на любой момент времени.**

Разработанный метод обоснования распределения объемов горных работ предполагает решение задачи в следующем порядке.

После назначения объемов ГКР в установленной зоне регулирования режима горных работ графика  $V = f(P)$  фиксируются продолжительности этапов, затем формируется множество вариантов режимов, для которых по этапам рассчитываются текущие коэффициенты вскрыши. Далее от последней точки к начальной графика  $V = f(P)$  выбирается тот вариант, в котором сумма текущих поэтапных коэффициентов вскрыши минимальна.

Для месторождения Окино-Ключи выполнен ГГА карьерного поля для различных углов наклона рабочего борта (рисунок 5).

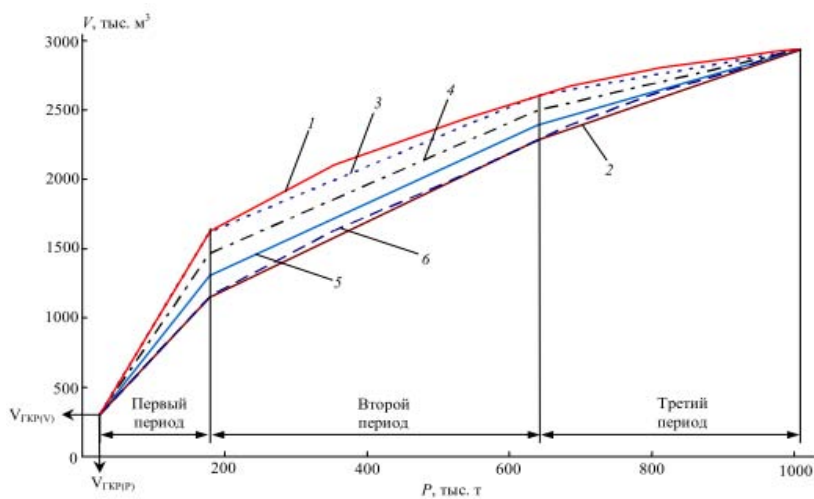


Рисунок 5 – Графики накопленных объемов вскрышных пород  $V$  и полезного ископаемого  $P$ : 1 – при работе с минимальной шириной рабочих площадок; 2 – при работе с максимальной шириной рабочих площадок; 3 – вариант режима горных работ при  $\varphi = 8^\circ$ ; 4 – при  $\varphi = 10^\circ$ ; 5 – при  $\varphi = 12^\circ$ ; 6 – при  $\varphi = 14^\circ$

В полученной зоне регулирования режима горных работ назначается продолжительность этапов отработки: первый этап – 2 года; второй этап – 6 лет; третий этап – 5 лет. На данных этапах определены поэтапные текущие коэффициенты вскрыши и выделены четыре базовых варианта режимов горных работ, для каждого этапа которых определены текущие коэффициенты вскрыши, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Текущие коэффициенты вскрыши

Показатель		Текущий коэффициент вскрыши			
		$\varphi = 8^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 12^\circ$	$\varphi = 14^\circ$
Продолжительность этапа	2 года	9,05	8,17	7,30	6,43
	6 лет	2,13	2,24	2,35	2,45
	5 лет	0,90	1,19	1,48	1,77

На основе базовых вариантов сформировано 16 возможных вариантов режима горных работ, различающихся суммарными поэтапными текущими коэффициентами вскрыши (таблица 5).

Таблица 5 – Суммы текущих коэффициентов вскрыши

№ п/п	Перебор вариантов	$\Sigma K_{vi}$	№ п/п	Перебор вариантов	$\Sigma K_{vi}$
1	9,05-2,13-0,90	23,60	9	7,30-2,13-0,90	22,25
2	9,05-2,24-0,90	23,66	10	7,30-2,24-0,90	22,31
3	9,05-2,35-0,90	23,72	11	7,30-2,35-0,90	22,37
4	9,05-2,45-0,90	23,78	12	7,30-2,45-0,90	22,42
5	8,17-2,13-0,90	22,93	<b>13</b>	<b>6,43-2,13-0,90</b>	<b>21,57</b>
6	8,17-2,24-0,90	22,98	14	6,43-2,24-0,90	21,63
7	8,17-2,35-0,90	23,04	15	6,43-2,35-0,90	21,69
8	8,17-2,45-0,90	23,10	16	6,43-2,45-0,90	21,75

Выполняется расчет ЧДД и оптимальный вариант режима горных работ устанавливается по его максимальному значению (рисунок 6). Для этого на последнем этапе выбирается максимальный ЧДД – 37046,19 тыс. руб. (рисунок 6), который достигается при отработке на предпоследнем этапе с коэффициентом вскрыши 2,13. Переход на второй этап обеспечивает максимальный ЧДД – 44,42



тыс. руб. для  $K_v = 2,13$  при условии, что  $K_v$  на первом этапе равен 6,43 с ЧДД = 28406,39 тыс. руб.

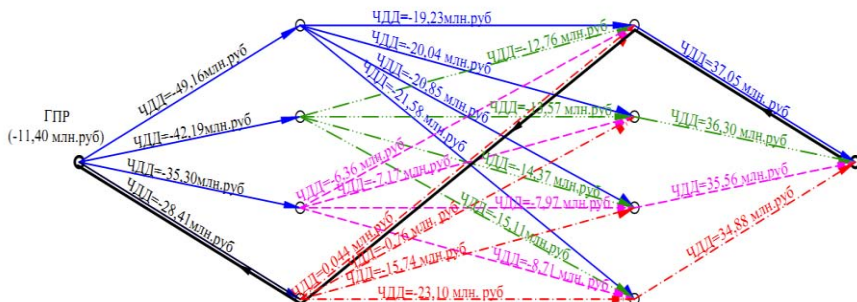


Рисунок 6 – Схема выбора оптимального варианта по критерию максимальный ЧДД

Развернув данную схему с первого этапа, получим вариант режима горных работ с коэффициентами вскрыши 6,43-2,13-0,90, суммарный поэтапный коэффициент 21,57, что соответствует расчетам, выполненным ранее (таблица 5). Варианты режимов горных работ могут отличаться не только поэтапными коэффициентами вскрыши, но и продолжительностью этапов. В этом случае оценку вариантов необходимо вести по суммарному поэтапному коэффициенту вскрыши, который суммируется по каждому году.

Так, например, к описанным вариантам добавляются два варианта. Один при отработке в два этапа: первый этап продолжительностью 3 года с поэтапным коэффициентом вскрыши  $K_{v1} = 4,587$ , второй этап продолжительностью 10 лет с  $K_{v2} = 2,17$ . Суммарный коэффициент вскрыши данного варианта

$$\sum K_{vi} = K_{v1}t_1 + K_{v2}t_2 = 35,461,$$

где  $t_1, t_2$  – продолжительность этапа, лет.

Второй вариант отработки карьерного поля: первый этап продолжительностью 3 года с поэтапным коэффициентом вскрыши  $K_{v1} = 6,38$ , второй этап – 4 года,  $K_{v2} = 7,33$ , третий этап – 6 лет,  $K_{v3} = 0,74$ .

Суммарный коэффициент вскрыши данного варианта

$$\sum K_{bi} = K_{b1}t_1 + K_{b2}t_2 + K_{b3}t_3 = 52,9.$$

Суммарный поэтапный коэффициент вскрыши для рационального варианта, рассчитанного по экономическому критерию

$$\sum K_{bi} = K_{b1}t_1 + K_{b2}t_2 + K_{b3}t_3 = 30,14.$$

Результаты расчетов показывают, что отработка месторождения по варианту с разделением на три этапа продолжительностью первого 2 года, второго – 6 лет, а третьего – 5 лет при режиме по ступенчато-убывающему графику с выполнением максимального объема вскрышных работ в период ГКР дает минимальный суммарный коэффициент вскрыши и, как следствие, максимальный ЧДД.

Как видно из рассмотренных примеров формирования графика соотношения объемов вскрышных работ и добычи по максимальным этапным и конечному ЧДД, даже при различных соотношениях количества и продолжительности этапов, позволяет выбрать рациональный вариант, характеризующийся положительными экономическими показателями в каждый период разработки и наибольшей экономической эффективностью отработки всего месторождения.

### **Заключение**

Основные научные и практические результаты:

1. В результате анализа литературных источников по теории проектирования карьеров, опыта проектирования и работы карьеров-аналогов доказана необходимость разработки и совершенствования методов распределения по годам отработки объемов вскрышных пород и полезного ископаемого при проектировании горных работ на малых месторождениях.

2. Разработана методика горно-геометрического анализа месторождений с пологими и горизонтальными залежами при транспортной или комбинированной системах разработки.

3. Установлено, что при проведении горно-геометрического анализа пологих и горизонтальных месторождений необходимо формировать расширенную область регулирования режима горных ра-

бот, что позволяет выбирать рациональные параметры элементов системы разработки.

4. Существующая методика горно-геометрического моделирования горных работ за счет расширения рабочей зоны, адаптирована для малых крутопадающих месторождений.

5. Выявлен характер взаимосвязи показателей эффективности (индекса доходности и чистого дисконтированного дохода) с первоначальным коэффициентом вскрыши.

6. Установлено влияние периода обеспеченности подготовленными запасами и объема горно-капитальных вскрышных работ на характер изменения суммы приведенного поэтапного коэффициента вскрыши при разработке малых месторождений.

7. Обосновано, что поэтапный расчет чистого дисконтированного дохода позволяет принимать решения по управлению параметрами системы разработки в процессе эксплуатации, что позволяет достичь наибольшей эффективности за весь период работ.

8. Доказана правомерность применения ступенчато-убывающего графика режима горных работ при использовании инвестиций в первоначальном периоде разработки конкретных малых месторождений.

Реализация результатов исследований в условиях разреза Окино-Ключи при выполнении максимального объема горно-капитальных работ и отработкой запасов по ступенчато-убывающему графику режима горных работ позволит повысить чистый дисконтированный доход на 10,7 млн. руб.

Разработанные методы могут применяться при технико-экономическом обосновании, проектировании и эксплуатации малых месторождений.

Методики и проектные решения, полученные в результате исследований, могут быть внедрены в проектных организациях и на карьерах, разрабатывающих малые месторождения.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

*– в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:*

1. Федорко В.П. Горно-геометрический анализ карьерных полей для пологих, горизонтальных залежей при транспортной или комбинированной системах разработки/ В.П. Федорко, Ю.Г. Рославцева.//Горный Журнал Известия ВУЗов. 2010. - № 5. - С.27-32.

2. Рославцева Ю.Г. Обоснование выбора рационального режима горных работ/Ю.Г. Рославцева, В.П. Федорко// Горный Журнал Известия ВуЗов, 2010. - № 5 - С.20-26.

3. Рославцева Ю.Г. Обоснование объемов горно-капитальных работ на карьерах, разрабатывающих малые месторождения/ Ю.Г. Рославцева, В.П. Федорко// Вестник Иркутского государственного технического университета, 2012. - №10. - С. 84-88.

4. Рославцева Ю.Г. Обоснование рационального режима на предприятиях, разрабатывающих малые месторождения/ Ю.Г. Рославцева, В.П. Федорко//// Записки Горного института. Том 205, Санкт-Петербург, 2013, - С.100-102.

*– в остальных изданиях:*

5. Рославцева Ю.Г. Факторы, определяющие границы карьеров// Проблемы безопасности современного мира: средства и технологии. Вып.8. – Иркутск: изд-во ИрГТУ. - 2008. - С. 21-24.

6. Рославцева Ю.Г. Способы расширения зоны регулирования режима горных работ при проведении горно-геометрического анализа// Проблемы безопасности природно-технических систем и общества. Современные риски и способы минимизации. - Иркутск: изд-во ИрГТУ. - 2010. - С.402-407.

7. Федорко В.П. Оптимизация режима горных работ/ В.П. Федорко, Ю.Г. Рославцева. // II межрегиональная научно-практическая конференция «Современный подход к построению системы безопасности труда в горнодобывающей промышленности». – Черемхово: изд-во Черемховского ГТТ. - 2010. - С.6-10.

8. Рославцева Ю.Г. Исследование влияния объемов горно-капитальных работ на выбор рационального распределения объемов вскрышных работ на малых предприятиях// Проблемы минерально-сырьевой базы Восточной Сибири. Вып.12. - Иркутск: изд-во ИрГТУ. - 2012. - С. 20-26.