

На правах рукописи

ГОРЮНОВ Федор Андреевич

**Создание метода оценки эффективности схем
вскрытия при проектировании глубоких карьеров по
физическим критериям**

**Специальность 25.00.21 – Теоретические основы проектирования
горнотехнических систем**

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

Москва

2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»

Научный руководитель –

доктор технических наук, профессор Анистратов Юрий Иванович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Комаров Евгений Иванович

кандидат технических наук Конопелько Сергей Анатольевич

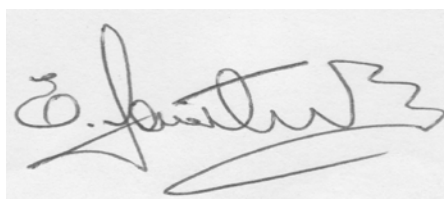
Ведущее предприятие - ОАО «Гипроцветмет»

Защита диссертации состоится «20» июня 2013 г. в 15-00 часов на заседании диссертационного совета Д.212.121.08 при Российском государственном геологоразведочном университете им.С.Орджоникидзе по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.23, ауд. 4-73.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета им.С.Орджоникидзе.

Автореферат разослан « 16» мая 2013 г.

**УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета**



Холобаев Е.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Вскрытие карьерного поля является главным звеном в стадии проектирования карьеров на всех типах месторождений. Отечественная школа инженерии имеет огромный опыт в этой области, что позволяет решать сложные вопросы открытых горных работ месторождений полезных ископаемых. Однако современные методы выбора схем вскрытия карьерного поля, основанные на экономической оценке, применимы и дают точные надёжные результаты лишь для короткого периода работы карьера.

Изменение со временем техники, технологии разработки и цен на сырьё при длительном периоде отработки месторождения, что имеет место при отработке месторождений на большую глубину, не позволяет достаточно точно прогнозировать экономические показатели затрат в будущем, а следовательно уверенно сделать выбор схемы вскрытия, рассчитанную на эффективную эксплуатацию карьера в длительный период. В тоже время сами затраты на процесс вскрытия формируются и оцениваются по физическим показателям (объёмы вскрываемых выработок, время доставки породы и затраты энергии для перемещения горной массы из карьера), которые определяются во время проектирования в возможных вариантах схем вскрытия.

В связи с этим создание метода оценки вариантов схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров по физическим критериям является актуальной **научной задачей.**

Целью работы является разработка метода многокритериальной оценки эффективности схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров по физическим критериям.

Идея работы заключается в выборе и обосновании основных физических критериев для многокритериальной оценки эффективности схем вскрытия глубоких карьеров с учётом влияния каждого критерия на суммарный результирующий по экономической составляющей.

Основные задачи исследований:

1. Обзор практики проектирования и научных исследований, посвященной вскрытию карьерных полей и карьерного транспорта, на современных глубоких карьерах.
2. Систематизация вскрывающих выработок по основным горнотехническим и горнотехнологическим свойствам.
3. Анализ физических показателей для выбора критериев оценки эффективности схем вскрытия глубоких карьеров.
4. Разработка метода многокритериальной оценки эффективности схем вскрытия глубоких карьеров на основе физических критериев.
5. Апробация метода оценки эффективности схемы вскрытия на основе физических критериев для анализа вскрытия глубокого карьера трубки «Удачная» АК «АЛРОСА».

Научная новизна работы заключается в разработке метода выбора и обоснования схем вскрытия глубоких карьеров, отрабатываемых с применением транспортных систем. В частности:

- проведена систематизация вскрывающих выработок карьерного поля по горнотехническим и горнотехнологическим условиям;
- сформулирован результирующий суммарный критерий для оценки вариантов схем вскрытия карьерных полей на основе системного анализа;
- предложена методика определения экономических коэффициентов влияния частных физических критериев на результирующий критерий при оценке схем вскрытия с длительным периодом развития этапа отработки;
- сформулированы рекомендации по оценке оптимальных уклонов транспортных берм физическими критериями, а также определены фактические зависимости различных конфигураций технологической трассы.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Изменение со временем техники, технологии разработки и цен на сырьё при длительном периоде отработки месторождения, что имеет место при

отработке месторождений на большую глубину, не позволяет достаточно точно прогнозировать экономические показатели затрат в будущем, а следовательно уверенно сделать выбор схемы вскрытия, рассчитанную на эффективную эксплуатацию карьера в длительный период.

Физические показатели вариантов схем вскрытия не зависят от времени и могут быть использованы для выбора критериев оценки эффективности схем вскрытия глубоких карьеров при проектировании.

2. Физические показатели вариантов схем вскрытия: объёмы вскрываемых выработок, время движения транспорта и энергоёмкость перемещения горной массы, наиболее полно представляющие затраты при вскрытии, - предлагается использовать в формировании критериев оценки эффективности схем вскрытия глубоких карьеров при проектировании.

3. Системный подход, используемый для сравнения вариантов схем вскрытия, позволяет сформировать метод многокритериальной оценки эффективности схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров по физическим критериям с учётом влияния каждого критерия на суммарный по экономической составляющей.

Практическая значимость работы. Использование результатов исследований позволяет:

- выбрать на стадии проектирования оптимальный вариант схемы вскрытия глубокого карьера, обеспечивающего его экономически эффективную работу при длительном периоде отработки месторождения;
- определить оптимальные значения уклонов транспортных берм, применяемых на глубоких карьерах;
- обосновать оптимальные конфигурации технологических трасс глубоких карьеров при автомобильном транспорте.

Достоверность научных положений и выводов обосновывается:

- исходными предпосылками, основанными на фундаментальных положениях теории открытой разработки месторождений и теории формирования транспортных систем карьеров;

- применением в исследованиях широко апробированных в проектной и научной практике методов горно-геометрического моделирования, основанных на законах формирования карьерного пространства, аналитических и графоаналитических методов;

- сходимостью результатов теоретических исследований и моделирования с результатами опытно-промышленных данных;

- результатами анализа горногеологических и горнотехнических условий разработки глубоких карьеров и энергетических критериев технологических процессов за 1970-2012 г.г..

Апробация работы. Диссертационная работа и отдельные её положения докладывались на: X Международной конференции «Новые идеи в науках о земле» апрель 2011 год, РГГРУ; VII Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых», 30 марта – 5 апреля 2012 года, РГГРУ; IX Международной молодежной научной школе «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых», 19-23 ноября 2012 год, ИПКОН РАН; XI Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», 9-12 апреля 2013 года, МГРИ-РГГРУ.

Личный вклад автора:

- сформулированы цель, идея и задачи исследований;
- проведена систематизация вскрывающих горных выработок по горнотехническим и горнотехнологическим условиям;

- обоснованы основные физические критерии, определяющие эффективность схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров;

- разработан метод оценки схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров, позволяющий сравнивать различные варианты относительно принятого технологического транспорта.

- получены зависимости по определению оптимальных параметров и конфигураций трассы технологического транспорта;

- сформулированы основные защищаемые положения и выводы, разработаны практические рекомендации.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 6 печатных работах, из них 2 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК.

Реализация выводов и рекомендаций. Результаты выполненных исследований используются в учебном процессе при дипломном и курсовом проектировании карьеров при подготовке горных инженеров в МГРИ-РГГРУ им.С.Орджоникидзе по специализации «Открытая и комбинированная разработка месторождений полезных ископаемых», и будут учтены в работах института ФГУП «Гипроцветмет» при проектировании глубоких карьеров.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, изложенных на 120 машинописных страницах, и содержит 17 рисунков, 16 таблиц, список использованной литературы из 82 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава диссертации посвящена анализу практики проектирования вскрытия карьерных полей, а также научных исследований в области карьерного транспорта.

Фундаментальный вклад в теорию и практику открытых горных работ, направленных на повышение эффективности добычи полезных ископаемых внесли академики РАН Н.В.Мельников, К.Н.Трубецкой, В.В.Ржевский, Н.Н.Мельников, член-корреспондент РАН В.Я.Яковлев, профессора д.т.н. Е.Ф.Шешко, А.И.Арсентьев, М.Г.Новожилов, В.С.Хохряков, Б.П.Юматов, Ю.И.Анистратов, К.Е.Винницкий, Б.А.Симкин, Ж.В.Бунин, Е.А.Котенко, Ю.П.Астафьев, Ю.П.Самородов, Г.А.Холодников и другие.

Наиболее значимыми в области проектирования карьеров являются труды: Ю.И.Анистратова, А.И.Арсентьева, Б.А.Боголюбова, А.В.Бричкина, Ж.В.Бунина, М.В.Васильева, П.И.Городецкого, А.П.Зотова, П.Э.Зуркова, И.А.Кузнецова, Н.В.Мельникова, М.Г.Новожилова, В.В.Ржевского, А.А.Старикова, Б.Н.Тартаковского, К.Н.Трубецкого, А.С.Фиделева, В.В.Хохрякова, Е.Ф.Шешко, С.М.Шорохова, В.А.Щелканова, Б.П.Юматова. В этих трудах заложены основы теории вскрытия карьерных полей, предложены классификации способов вскрытия и области их применения в различных природных и технологических условиях, дана оценка карьерного транспорта, и его эффективности при эксплуатации на современных карьерах.

В главе определены недостатки существующих экономических критериев для оценки схем вскрытия, принимаемых при проектировании глубоких карьеров.

Вторая глава посвящена анализу существующих классификаций способов вскрытия и грузопотоков при разработке глубоких карьеров, систематизации вскрывающих выработок по основным горнотехническим и горнотехнологическим условиям, анализу этапов отработки при вскрытии

глубоких карьеров. Приведены функциональные зависимости между параметрами вскрывающих горных выработок.

Третья глава включает исследования по выбору и обоснованию физических показателей для формирования критериев оценки эффективности схем вскрытия глубоких карьеров, создания суммарного безразмерного критерия сравнения вариантов схем вскрытия карьерных полей.

В четвертой главе излагается метод многокритериальной оценки эффективности схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров по физическим критериям с учётом влияния каждого критерия на суммарный по экономической составляющей. В этой же главе представлена оценка параметров технологической трассы вскрывающей выработки для глубокого карьера и получены расчётные зависимости нахождения оптимальных уклонов транспортных берм и параметры различных конфигураций трассы.

В пятой главе приведена сравнительная оценка смоделированных схем вскрытия для первого этапа отработки месторождения в условиях трубки «Удачная» АК «АЛРОСА». Выполнена экономическая оценка эффективности разработанных рекомендаций по использованию предлагаемого метода.

Основные результаты исследований отражены при доказательстве следующих защищаемых положений:

1. Изменение со временем техники, технологии разработки и цен на сырьё при длительном периоде отработки месторождения, что имеет место при отработке месторождений на большую глубину, не позволяет достаточно точно прогнозировать экономические показатели затрат в будущем, а следовательно уверенно сделать выбор схемы вскрытия, рассчитанную на эффективную эксплуатацию карьера в длительный период.

Физические показатели вариантов схем вскрытия не зависят от времени и могут быть использованы для выбора критериев оценки эффективности схем вскрытия глубоких карьеров при проектировании.

Как известно, схема вскрытия карьера определяется горнотехническими и природными условиями залегания полезного ископаемого, видом горного оборудования, рельефом местности и другими факторами. Развитие глубоких карьеров в период 1980-2012 гг., заключающееся в освоении циклично-поточной технологии горных работ, позволило накопить огромный опыт по размещению вскрывающих выработок.

Анализ имеющихся научных разработок показывает, что физические критерии при оценке эффективности схем вскрытия изучаются отдельно. Поэтому создание метода, предполагающего комплексное рассмотрение физических критериев для нахождения наилучшего варианта, является актуальной задачей в теоретическом плане и имеет важное научное значение.

Для определения эффективной схемы вскрытия существуют различные способы. Наиболее распространенные из них два:

- первый заключается в следующем: схема вскрытия должна обеспечивать минимальные энергетические и временные затраты на перевозку горной массы, а также минимальные объемы горнокапитальных работ. При этом минимизация происходит по отдельным физическим критериям, исходя из приоритетных затрат, то есть задача рассматривается не в комплексе.

- второй - в принятии такой схемы вскрытия карьерного поля, которая определяется минимумом денежных затрат на строительство карьера и его эксплуатацию в начальный период (в первые 10-15 лет), что не дает представления рационального решения по оценке схем вскрытия карьера при длительном сроке этапов отработки месторождения.

Каждый из двух способов опирается на отдельные критерии (физические и экономические). Опыт разработки глубоких карьеров доказал, что критерии, учитывающие дисконтирование затрат, малоприспособлены для принятия рациональных решений по долгосрочному формированию схем вскрытия карьеров. Поэтому очевидно, что наиболее рациональной будет являться схема вскрытия, принятая на основе физических критериев, рассмотренных в комплексе.

Практика разработки месторождений полезных ископаемых сформировала большое количество возможностей по размещению вскрывающих выработок. Так тенденция роста глубины разработки в значительной степени определяет характер схем вскрытия карьерных полей. Выбор вида транспорта непосредственно влияет на технические характеристики горных выработок.

Если объединить связи, то можно сказать, что горные выработки различаются по виду, способу заложения, форме, связью с горизонтами и бортами карьера, виду транспорта, а также как составляющие трассы, они различаются по ее форме. На основе этих особенностей проведена систематизация вскрывающих выработок карьерного поля – таблица 1.

Одной из целей создания систематизации вскрывающих выработок является наглядное представление о разнообразии способов выбора грузотранспортной связи. Их оказывается множество: траншею и систему траншей можно заложить 204 различными способами, ствол – 20, штольню – 24, рудоспуск – 9, рудоскат - 12.

Анализ используемых в научно-технической практике разнообразных характеристик показал, что в формировании критериев оценки эффективности схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров в основном используются 10 общеизвестных экономических, технологических и энергетических показателей - таблица 2.

Ввиду того, что ценовая политика постоянно колеблется и приносит неточности при рассмотрении длительных периодов этапов отработки глубоких карьеров, принято решение рассматривать только технологические и энергетические показатели для создания оценки эффективности схем вскрытия карьерного поля.

2. Физические показатели вариантов схем вскрытия: объёмы вскрывающих выработок, время движения транспорта и энергоёмкость перемещения горной массы, наиболее полно представляющие затраты при вскрытии, - предлагается использовать в формировании критериев оценки эффективности схем вскрытия глубоких карьеров при проектировании.

Таблица 1 - Систематизация вскрывающих выработок карьерного поля

Вид выработок	Признак различия								
	Относительны о контура карьера	Форма выработки	Относительны о горизонта	Число обслуживаемых горизонтов	Число путей	Число обслуживаемых бортов	Вид транспорта	Форма трассы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Траншея	внешняя	трапециевидная	наклонная	отдельная; групповая; общая	однопутевая; двухпутевая	однобортовая; двухбортовая	автомобильный; железнодорожный; конвейерный; комбинированный скиповой; конвейерный	прямая	
			крутая						
Рудоскат	внешний; внутренний	трапециевидная	наклонный	отдельный; групповой; общий	-	-	гравитационный	прямая; ступенчатая	
			вертикальный						
Ствол	внешний; внутренний	трапециевидная	наклонный	-	-	-	автомобильный; железнодорожный; конвейерный; комбинированный	-	
			арочная; трапециевидная						
Штольня	внешняя	арочная; трапециевидная	горизонтальная	-	однопутевая; двухпутевая	-	автомобильный; железнодорожный; конвейерный; комбинированный	-	
			вертикальный						
Рудоспуск	внешний; внутренний	трапециевидная	крутой	отдельный; групповой; общий	-	-	гравитационный	-	
			квадратная						

Таблица 2 - Наиболее распространенные экономические, технологические и энергетические показатели в оценке эффективности схем вскрытия карьерного поля

	Показатели	Обозначение	Размерность
Экономические	1. Себестоимость продукции	С	руб
	2. Капитальные и эксплуатационные затраты	К, Э	руб
	3. Дисконтированная стоимость	С _д	руб
	4. Чистый дисконтированный доход	ЧДД	руб
Технологические	5. Объем вскрывающих выработок	V _{выр}	м ³
	6. Время рейса	T _р	ч
	7. Длина трассы	L _т	м
Энергетические	8. Энергопоглощение	Е	Дж/м ³
	9. Энергоемкость	Р	г у. т.
	10. Расход электроэнергии или расход топлива	G _{эл} R _т	кВт·час, г·час

Длина трассы входит в расчет объемов вскрывающих выработок, и не раскрывает все затраты, связанные с эксплуатацией траншей. А эффективность движения транспортных средств значительно лучше описывает «Время рейса», так как напрямую зависит от тяговой мощности применяемых агрегатов. Ввиду того, что «Объем вскрывающих выработок» и «Время рейса» полностью описывают оцениваемые характеристики, показатель «Длина трассы» в качестве дальнейшего использования в критерии оценки принято исключить. При этом следует отметить, что для оценки эффективности схем вскрытия «Время рейса» следует принимать в рамках анализируемой системы, т.е. это время движения транспортных средств от забоев до верхней отметки схемы вскрытия, поэтому принято следующее название показателя - «Время движения транспорта».

Энергопоглощение представляет собой величину энергии, количество которой теоретически необходимо и достаточно для изменения состояния или

положения объекта разработки в процессах горного производства, и всегда меньше фактического расхода энергии. А при сравнении вариантов по энергозатратам необходимо определить действительные расходы энергии в зависимости от условий транспортировки. Это возможно по показателям «Энергоемкость» или «Расход электроэнергии/топлива».

При сравнении вариантов схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров возникает вопрос, связанный с приведением тепловой энергии дизельного топлива и электрической энергии в сопоставимый вид. Исходя из этого, в оценке эффективности схем вскрытия предпочтительным будет показатель «Энергоемкость». Так как показатель относится к транспорту, принято следующее название - «Энергоемкость транспорта». Итак, обоснованы три основных физических показателя для создания оценки схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров – это «Объем вскрываемых выработок» (V), «Время движения транспорта» (T) и «Энергоемкость транспорта» (E) со следующими размерностями соответственно: метр кубический (м³), час (ч), грамм условного топлива (г у.т.).

Объем выработок схем вскрытия зависит от формы и размеров поперечного сечения, принимаемой длины выработок, величины уклона, рельефа поверхности, горнотехнических свойств породы. На рисунке 1 представлены функциональные зависимости между параметрами вскрываемых выработок.

Изучение способов формирования критерия эффективности применительно к рассматриваемой задаче привело к методу главного критерия. В качестве функции для создания сравнения вариантов схем вскрытия была использована аддитивная функция, имеющей вид:

$$q_0(x) = \sum_{i=1}^N \frac{k_i q_i(x)}{S_i} \quad (1)$$

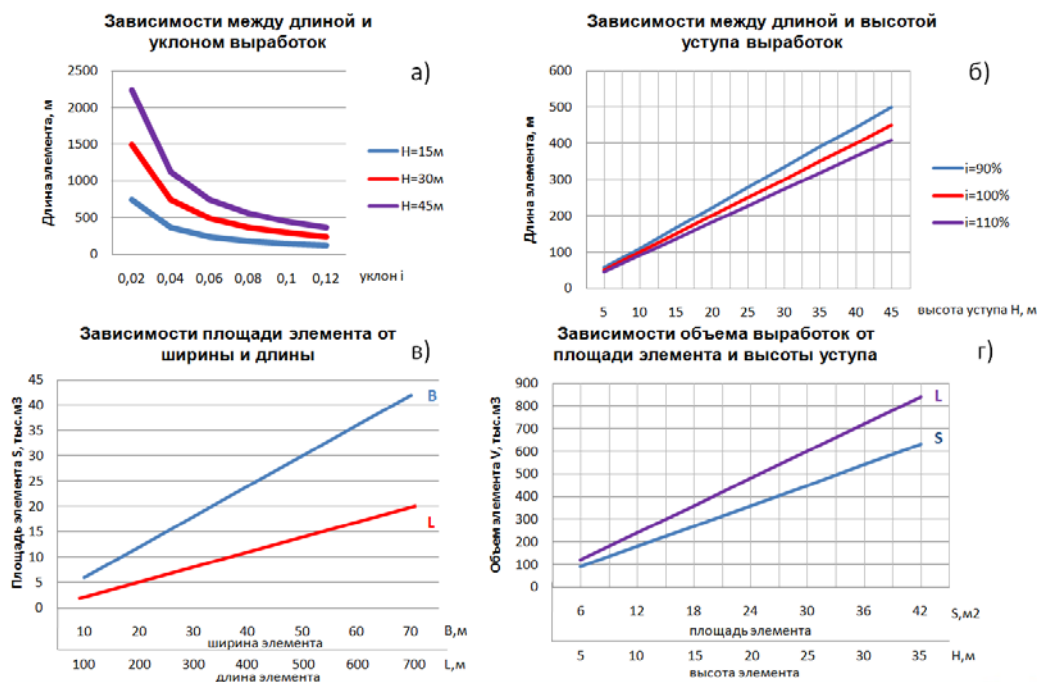


Рисунок 1. Исследование функциональных зависимостей между параметрами вскрывающих выработок

где i – количество входящих критериев от 1 до N (натуральное число); k_i – коэффициент вклада, определяющий степень значимости каждого критерия в суммарном критерии ($k_1 + \dots + k_i = 1$); $q_i(x)$ – критерии оценки эффективности схем вскрытия; S_i – коэффициент пересчета.

Коэффициенты пересчета (S_i) в формуле 1 обеспечивают:

1. Безразмерность числа $q_i(x)/S_i$, так как входящие физические критерии имеют различную размерность и не поддаются сложению.
2. Условие нормировки, при котором слагаемые суммарного критерия меньше 1 ($k_i q_i(x)/S_i < 1$).

Для формирования физических критериев использован метод избавления от размерности, предложенный советским, российским учёным математиком Л.И.Седовым в 1967 г.. Метод представляет собой относительное отклонение показателей от средних арифметических значений одинаковых показателей всех рассматриваемых вариантов. Коэффициент пересчета (S_i) выступает в роли среднего арифметического всех одинаковых показателей. Применительно к

оценке эффективности схемы вскрытия физические критерии будут выглядеть следующим образом:

$$\frac{q_i(V)}{S_i} = \frac{V_i}{V_{cp}} - \text{физический критерий «Объем вскрывающих выработок»}, \text{ где}$$

V_i – горностроительный объем вскрывающих выработок i -го варианта схемы вскрытия, м^3 ; $V_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{N}$ – среднее арифметическое объемов вскрывающих выработок всех вариантов схем вскрытия, м^3 ;

$$\frac{q_i(T)}{S_i} = \frac{T_i}{T_{cp}} - \text{физический критерий «Время движения транспорта»}, \text{ где } T_i -$$

суммарное время движения транспортных средств от забоев до верхней отметки схемы вскрытия и обратно i -го варианта, ч; $T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N}$ – среднее арифметическое суммарного времени движения транспорта всех вариантов схем вскрытия, ч;

$$\frac{q_i(E)}{S_i} = \frac{E_i}{E_{cp}} - \text{физический критерий «Энергоемкость транспорта»}, \text{ где } E_i -$$

суммарная энергоемкость транспортирования горной массы i -го варианта схемы вскрытия, г у.т.; $E_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N E_i}{N}$ – среднее арифметическое суммарной энергоемкости транспорта всех вариантов схем вскрытия, г у.т.;

Таким образом, образованы безразмерные физические критерии оценки эффективности схем вскрытия с выполнением условия нормировки. Коэффициенты k_i (формула 1) характеризуют относительный вклад частных критериев в суммарный критерий. Важной задачей в многокритериальной постановке оценки является необходимость определения аналитического вида коэффициентов k_i . Он должен обеспечить следующие свойства модели:

1. Приемлемость к предметной области и точке зрения экспертов.
2. Малое изменение величины суммарного критерия от малого изменения исходных данных.

Каждый критерий имеет определенный вклад в оценке эффективности схем вскрытия. Их значимость в суммарном критерии изменяется в

зависимости от горнотехнических, горнотехнологических условий, технического оснащения, заработной платы и прочих особенностей ведения открытых горных работ. Рыночные отношения, повсеместно внедренные на горных предприятиях, требуют определения экономического влияния физических критериев. Поэтому при определении значимости частных критериев возникает необходимость использования экономической оценки влияния слагающих критериев на суммарный.

Таким образом, коэффициенты вклада k_i , определяющие степень значимости каждого критерия в суммарном критерии, являются экономическими коэффициентами (вклада). Они представляют собой долю денежных затрат отдельных критериев к общим затратам всех критериев:

$$k_i = \frac{Z_i}{\sum Z_q} \quad (3)$$

где Z_i – капитальные и эксплуатационные затраты отдельных критериев, руб., $\sum Z_q$ – суммарные затраты всех критериев, руб..

Применительно к рассматриваемой задаче определение коэффициента вклада относится к средним физическим затратам (V_{cp} , T_{cp} , E_{cp}), так как критерии приводятся к средним арифметическим значениям одинаковых критериев всех вариантов.

В исследованиях по влиянию физических показателей на оценку эффективности схем вскрытия были определены затраты, которые отражают показатели. При этом следует учесть пересечение топливных затрат в показателях «Время движения транспорта» и «Энергоемкость транспорта», и рационально оставить топливные расходы в критерии «Энергоемкость транспорта», так как он учитывает необходимые энергетические ресурсы в рамках рассматриваемой системы – схемы вскрытия.

Таким образом, общие формулы по определению коэффициентов вклада k_i и включенные в них затраты представлены в таблице 3:

Таблица 3 - Общие формулы по определению коэффициентов вклада k_i

Коэффициент вклада	Формула	Входящие затраты
Физического критерия «Объем вскрывающих выработок»	$k_v = \frac{K_v + \mathcal{E}_v}{K_v + \mathcal{E}_v + K_T + \mathcal{E}_T + K_E + \mathcal{E}_E}$	K_v – капитальные расходы на проведение выработок, создание условий транспортирования, руб.; \mathcal{E}_v – эксплуатационные расходы на поддержание транспортных выработок, руб.; K_T – капитальные расходы на приобретение и доставку транспорта, руб.; \mathcal{E}_T – эксплуатационные затраты на содержание, амортизацию карьерного транспорта, руб.; K_E – капитальные расходы на топливо/электроэнергию, руб.; \mathcal{E}_E – эксплуатационные затраты на обеспечение транспорта топливом/электроэнергией, руб..
Физического критерия «Время движения транспорта»	$k_T = \frac{K_T + \mathcal{E}_T}{K_v + \mathcal{E}_v + K_T + \mathcal{E}_T + K_E + \mathcal{E}_E}$	
Физического критерия «Энергоемкости транспорта»	$k_E = \frac{K_E + \mathcal{E}_E}{K_v + \mathcal{E}_v + K_T + \mathcal{E}_T + K_E + \mathcal{E}_E}$	

Себестоимость отдельных статей затрат, входящих в капитальные и эксплуатационные затраты физических критериев, рекомендуется выявлять следующими способами:

1. По экономическим затратам на работы на месторождении-аналоге. Коэффициенты могут быть подобраны в кратчайшие сроки: сводится к определению отношений затрат по критериям к общим расходам через статистические данные о затратах по месторождениям-аналогам.

2. Из соображения идеального соотношения затрат по критериям в будущем. Данный способ может быть использован при реализации определенной программы ведения горных работ, при которой определены процентные соотношения затрат и поддерживаются на одном уровне.

3. Из расчета предельных затрат по каждому критерию. Данный способ предполагает использование максимально высоких стоимостей по отдельным статьям затрат: в расчетах принимается максимально допустимая стоимость энергоресурсов, заработной платы, технического перевооружения и прочее.

Достоинства применения коэффициентов вклада физических критериев:

1. Нахождение коэффициентов вклада заключается в поиске отношений затрат, включенных в критерии оценки. То есть, понимая характеристику

изменения затрат с глубиной разработки карьера, возможно определение коэффициентов вклада с минимальным количеством расчетов денежного влияния на оценку эффективности.

2. Расчет экономических затрат физических критериев через коэффициент вклада необходим лишь для средних величин физических показателей при оценке схем вскрытия.

Оба этих качества применения коэффициентов вклада повышают производительность инженерных расчетов во много раз.

Для определения изменения соотношения коэффициентов вклада с глубиной отработки карьера был проведен технико-экономический анализ для различных видов транспорта. Полученные данные технико-экономического анализа коэффициентов вклада представлены на рисунке 2. Горногеологические условия были приняты по трубке «Удачная» АК «АЛРОСА». Ограничение расчетов коэффициентов вклада по глубине обусловлено эффективностью применения карьерного транспорта.

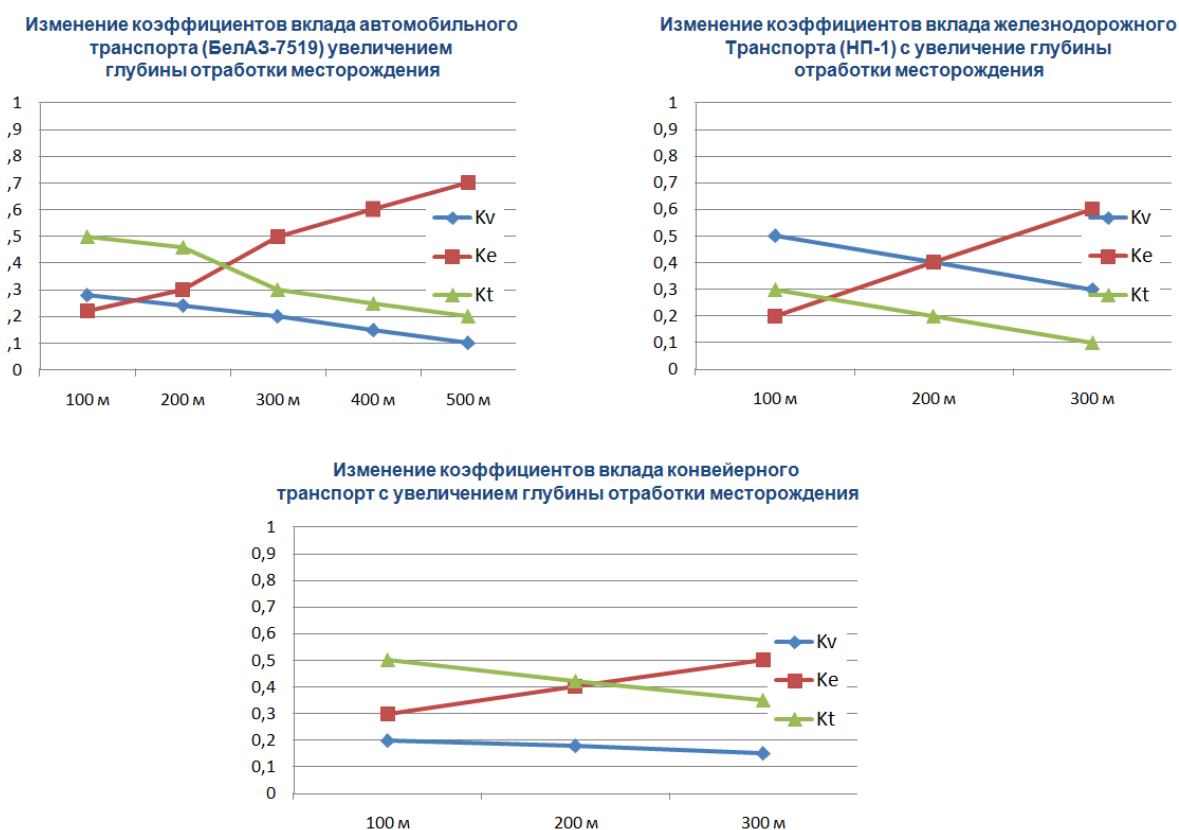


Рисунок 2. Результаты технико-экономических расчетов коэффициентов вклада физических критериев для различных видов транспорта

Оценка эффективности схем вскрытия на основе физических критериев позволяет упорядочить альтернативы по величине и произвести сравнение рассматриваемых схем вскрытия. Конечная формула суммарного критерия (K_i) для созданных критериев будет выглядеть следующим образом:

$$K_i = \frac{V_i}{V_{cp}} k_1 + \frac{T_i}{T_{cp}} k_2 + \frac{E_i}{E_{cp}} k_3, \quad (4)$$

Методика оценки эффективности схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров в ходе исследования применена для определения уклона транспортных берм и рационального размещения технологической трассы.

Результаты определения уклона автодорог в условиях трубки «Удачная» для автосамосвала БелАЗ-7519 представлены на рисунке 3, а минимальное значение суммарного критерия соответствует наилучшему варианту (оптимальный уклон равен 11%).

оптимальный уклон (%) по критерию				
объему траншеи (V)	удельных энергозатрат (P)		времени движения (T)	
определяется техническими ограничениями	10-14		12-14	
область поиска $10\% < i_{opt} < 20\%$				
	10%	11%	12%	13%
суммарный критерий, K	0,98733	0,98564	0,98767	1,00539

Рисунок 3 – Определение оптимального уклона для автосамосвала БелАЗ-7519 в условиях трубки «Удачная» АК АЛРОСА

С целью определения эффективного варианта схемы вскрытия карьерного поля на одном из глубоких карьеров в западной Якутии (тр. Удачная) проведено моделирование размещения автомобильной трассы, разделённой на элементы. В результате моделирования по сравнению с проектным вариантом удалось найти более выгодный вариант вскрытия карьера для первого этапа отработки: подобрать рациональную конфигурацию трассы, выбрать оптимальный уклон. Полученные данные показали снижение общих затрат полученного варианта схемы вскрытия относительно существовавшего на 26,7 млн. руб.

3. Системный подход, используемый для сравнения вариантов схем вскрытия, позволяет сформировать метод многокритериальной оценки эффективности схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров по физическим критериям с учётом влияния каждого критерия на суммарный по экономической составляющей.

Полученные результаты исследований диссертационной работы привели к формированию метода оценки эффективности схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров и представляют порядок действий, выраженный в алгоритме:

1. Установление контуров схемы, факторов, определяющих условия, порядок и возможность заложения вскрывающих выработок в эксплуатационном пространстве карьера;

2. Выбор и обоснование физических показателей для формирования критериев оценки эффективности схем вскрытия карьерных полей при проектировании глубоких карьеров;

3. Определение оптимального уклона вскрывающих выработок;

4. Определение рациональных конфигураций трассы;

5. Моделирование вариантов схем вскрытия карьерного поля;

6. Расчет показателей вариантов;

7. Формирование критериев оценки эффективности;

8. Расчет коэффициентов вклада частных критериев в суммарный;

9. Расчет суммарных критериев.

10. Сравнение полученных результатов и принятие наилучшего варианта схемы вскрытия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи – создание метода многокритериальной оценки эффективности схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров по физическим критериям с учётом влияния каждого критерия на суммарный по экономической составляющей.

Предложенный метод позволяет снизить трудоемкость инженерных расчетов, повысить надежность принимаемых решений, что имеет существенное значение для теории и практики проектирования открытых горных работ.

Основные выводы диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Анализ научно-исследовательской литературы, посвященной вскрытию при открытых горных работах, методов проектирования вскрытия глубоких карьеров, изучение влияния карьерного транспорта на эффективность грузотранспортной связи забоев и пунктов приёма горной массы на поверхности показал, что современные методы выбора схем вскрытия карьерного поля, основанные на экономической оценке, применимы и дают точные надёжные результаты для рассмотрения лишь короткого периода работы карьера.

Изменение со временем техники, технологии разработки и цен на сырьё при длительном периоде отработки месторождения, что имеет место при отработке месторождений на большую глубину, не позволяет достаточно точно прогнозировать экономические показатели затрат в будущем, а следовательно уверенно сделать выбор схемы вскрытия, рассчитанную на эффективную эксплуатацию карьера в длительный период.

Физические показатели вариантов схем вскрытия не зависят от времени и могут быть использованы для выбора критериев оценки эффективности схем вскрытия глубоких карьеров при проектировании.

2. Установлено, что оценка эффективности схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров, базирующаяся на физических критериях при многокритериальном выборе, выражает основные источники издержек, что позволяет найти наилучший из рассматриваемых вариантов схем вскрытия месторождения.

Изучение способов решения многокритериальной задачи применительно к исследуемому вопросу привело к выводу, что наилучшим решением является сведение задачи к безразмерной однокритериальной, что предполагает получение суммарного результирующего критерия для распределения альтернатив по величине.

3. Определены основные технологические показатели эффективности, используемые в формировании критериев при выборе схемы вскрытия карьерного поля. Исследования показывают, что наиболее обоснованными в настоящее время с технических, технологических и экономических позиций являются горностроительный объем вскрываемых выработок (V), время доставки горной массы (T) и энергоемкость карьерного транспорта (E).

4. В методе оценки эффективности схем вскрытия предложена альтернатива экономического аспекта затрат на работы, выраженных в физических критериях. Они представляют собой долю денежных затрат, приводимых рассмотренными критериями, в общих затратах всех критериев. Соотношение рекомендуется выявлять следующими способами:

- по экономическим затратам на работы на месторождении-аналоге.
- из соображения идеального соотношения затрат по критериям в будущем.
- из расчета предельных затрат по каждому критерию.

5. Общим показателем, определяющим величину физических критериев, является уклон. Создана методика, основанная на системном анализе, для нахождения оптимального уклона трассы с учетом всех рассмотренных критериев.

6. Оценка конфигураций трассы по разработанной методике приводит к увеличению производительности технологических потоков на карьере.

Основные результаты работы опубликованы в следующих работах:

- в изданиях рецензируемых ВАК Минобрнауки России:

1. Анистратов Ю.И., Горюнов Ф.А. «Систематизация вскрывающих выработок и выбор критериев, определяющих способ вскрытия карьерных». Горная промышленность. М., №6, 2012, с.54-58;

2. Анистратов Ю.И., Горюнов Ф.А. «Выбор схемы вскрытия карьерного поля на основе кумулятивного критерия». Горный журнал. М., №3, 2013, с.70-71.

- в прочих изданиях:

3. Горюнов Ф.А. Систематизация вскрывающих выработок карьерного поля / Доклады X Международной конференции «Новые идеи в науках о земле», М., 2011, т.2, с.135.

4. Анистратов Ю.И., Горюнов Ф.А. Многокритериальная оценка вариантов способа вскрытия карьерного поля /Материалы VII Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых», 30 марта-5 апреля 2012, МГРИ-РГГРУ, М., 2012, с.66.

5. Анистратов Ю.И., Горюнов Ф.А. Создание метода выбора способа вскрытия карьерного поля / Доклады IX Международной молодежной научной школы «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых», ИПКОН РАН, М., 2012 г., с.255-259.

6. Анистратов Ю.И., Горюнов Ф.А. Коэффициенты экономической нагрузки критериев, определяющих способ вскрытия карьерного поля / Доклады XI Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», МГРИ-РГГРУ, М., 2013 г., с.41-43.