

*На правах рукописи*

РУНОВА СВЕТЛАНА ВИТАЛЬЕВНА

**Создание метода определения главных параметров карьера путём  
объёмно-поэтапного моделирования рабочей зоны карьера в  
интерактивном режиме на ЭВМ**

Специальность: 25.00.21 - «Теоретические основы проектирования  
горнотехнических систем» (технические науки)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2011г.

Работа выполнена в Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе на кафедре «Разработка месторождений стратегических видов минерального сырья и маркшейдерского дела»

Научный руководитель - Лауреат государственной премии СССР,  
Заслуженный деятель науки и техники РФ,  
действительный член Академии горных наук,  
доктор технических наук,  
профессор Анистратов Ю.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Ильин Сергей Александрович

кандидат технических наук, доцент  
Пастихин Денис Валерьевич

Ведущее предприятие: ФГУП «Гипроцветмет»

Защита состоится: 24 марта 2011 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д.212.121.08 при Российском Государственном Геологоразведочном Университете по адресу: 117873, г. Москва, ГСП-7, ул. Миклухо-Маклая, 23, аудитория 6-87

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского Государственного Геологического Университета.

Автореферат разослан 22 февраля 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Холобаев Е.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Одной из основных задач определения эффективности инвестиций в сооружение нового или реконструкции и перевооружения действующего является определение главных параметров карьера.

В настоящее время эта работа выполняется проектирующими организациями с использованием графических, графоаналитических методов отечественных учёных или компьютерных программ. Первые, базирующиеся на первоначальных графических данных, очень трудоёмки и требуют для определения главных параметров карьера большого количества времени. Компьютерные программы базируются на специально создаваемых математических моделях месторождения, но при определении главных параметров карьера не отражают реальное развитие горных работ, снижая учёт эксплуатационных затрат по этапам отработки месторождения.

Для оценки эффективности инвестиций в открытую разработку месторождений или реконструкции действующих необходимы методы для первых стадий проектирования позволяющие в короткие сроки с меньшими трудовыми затратами определять капитальные затраты на сооружение карьера или его реконструкции и уровень его эффективности во время эксплуатации.

В связи с этим, **в настоящее время для быстрого определения главных параметров карьера в проектной практике на стадии составления бизнес-плана или определения эффективности инвестиций имеется необходимость совместить достоинства наглядных графических методов известных ученых с преимуществами в скорости получения результатов анализа месторождения для обоснования главных параметров карьера на ЭВМ.**

**Научная проблема** заключается в создании метода определения главных параметров карьера и комплексной механизации горных работ на ЭВМ в интерактивном режиме для экспресс-оценки эффективности инвестиций в разработку месторождений открытым способом.

**Цель работы** является создание метода определения главных параметров карьера на ЭВМ в интерактивном режиме для оценки эффективности инвестиций в разработку месторождений открытым способом.

Для создания такого метода нами проведено исследование основных проблем, связанных с созданием метода, отвечающего поставленной цели, в результате которой мы пришли к **идее**, которая заключается в использовании геометрической конструкции эксплуатационного пространства и рабочей зоны карьера в динамике с учётом геологического

строения месторождения для создания объемно-поэтапной математической модели развития горных работ.

#### **Научные положения, защищаемые в работе:**

1. Формализация конструкции эксплуатационного пространства и рабочей зоны карьера по типам залежи полезного ископаемого обеспечивает возможность математического моделирования при компьютерном проектировании главных параметров карьера и расчёте комплекта оборудования для производства горных работ.

2. Компьютерный объемно-поэтапный метод определения главных параметров карьера и расчёта комплекта оборудования для производства горных работ путём моделирования в интерактивном режиме позволяет совместить проектирование с оптимизацией параметров карьера в каждом этапе и увеличить скорость получения конечных результатов, по сравнению с существующими методами.

3. Разделение конечного контура глубоких карьеров крутопадающих и наклонных месторождений по глубине отработки на промежуточные стадии, соответствующие эффективному использованию однотипного и комбинированного транспорта, с углами откосов промежуточных бортов равными или близкими к углу погашения, увеличивает эффективность отработки каждой стадии в 3 раза, а по месторождению в целом в 7 раз за счёт переноса части объемов вскрыши с начальных стадий в последующие, которые будут отработаны с применением новой техники и технологии.

4. Изменение регулируемых в допустимых пределах безопасности и возможной технической и технологической достижимости параметров эксплуатационной и рабочей зон карьера показывают, что:

- увеличение угла откоса рабочего борта карьера в эксплуатационном пространстве в диапазоне с  $15^\circ$  до  $30^\circ$  позволяет снизить объем горной массы в этапе отработки в два раза, максимальный разнос бортов карьера на 25%, а максимальную глубину карьера увеличить на 15%;

- увеличение угла откоса бортов карьера при погашении в диапазоне с  $35^\circ$  до  $50^\circ$  увеличивает объём горной массы в контуре карьера на 80%, а максимальную глубину карьера в два раза;

- увеличение скорости углубления горных работ от 5 до 30 м/год максимально-возможная производительность карьера увеличится в 7 раз.

#### **Научное значение работы заключается в:**

1. формализации конструкций эксплуатационного пространства и рабочей зоны карьера по типам залежи полезного ископаемого для математического моделирования при компьютерном проектировании главных параметров карьера и расчёта комплекта оборудования для производства горных работ.

2. создании метода определения главных параметров карьера путём объемно-поэтапного моделирования рабочей зоны карьера в интерактивном режиме на ЭВМ для первых стадий проектирования горного предприятия: бизнес-проекта и определения эффективности инвестиций в разработку месторождения открытым способом.

3. определении эффективности разделения конечного контура глубоких карьеров крутопадающих и наклонных месторождений по глубине отработки на промежуточные стадии соответствующие эффективному использованию однотипного и комбинированного транспорта, с углами откосов промежуточных контуров равными или близкими к углу погашения, что увеличивает эффективность отработки каждой стадии и в целом месторождения.

#### **Практическое значение работы:**

Заключается в использовании объемно-поэтапного метода определения главных параметров карьера и выбора комплекта оборудования для производства горных работ путём математического моделирования в интерактивном режиме с использованием компьютерных технологий в проектной практике при строительстве новых и реконструкции действующих карьеров, позволяющего увеличить надёжность проектных решений и сократить время создания проектов.

**Достоверность и обоснованность** научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается применением современных методов исследования: аналитического, графического и технико-экономического анализа, а также сходимостью данных математического моделирования с данными практики.

**Реализация выводов и рекомендаций** используется в учебном процессе при дипломном и курсовом проектировании карьеров при подготовке горных инженеров в РГГРУ по специализации «Открытая и комбинированная разработка месторождений полезных ископаемых», и проектным институтом ФГУП «Гипроцветмет».

**Апробация работы.** Диссертационная работа и отдельные её положения докладывались на международных научных конференциях профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников, аспирантов и студентов Российского государственного геологоразведочного университета (2009, 2010 г.г).

**Публикации.** По результатам выполненных исследований опубликовано три печатных работы в журналах рекомендованных ВАК.

**Объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, изложенных на 120 машинописных страницах, и содержит 22 рисунка, 3 таблицы, 5 графиков, приложение, список использованной литературы из 11 наименований.

Для достижения указанной цели в работе решаются следующие **задачи**:

1. Анализ современных методов определения главных параметров карьера, цель и задачи исследования.
2. Формализация конструкций эксплуатационного пространства и рабочей зоны карьера и создание математической модели компьютерных расчётов главных параметров карьера в интерактивном режиме.
3. Программирование математической модели для определения главных параметров карьера.
4. Исследование зависимости главных параметров карьера от природных условий месторождения.
5. Определение эффективности использования предложенного метода для определения главных параметров карьера путём математического моделирования в природных условиях Ведугинского полиметаллического месторождения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### **1. Анализ современных методов определения главных параметров карьера, цель и задачи исследования.**

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, В.И.Анистратов, К.Е.Винницкий, Б.А.Симкин, Ж.В.Бунин, Е.А.Котенко, Ю.П.Астафьев, Ю.П.Самородов, Г.А.Холодняков и другие.

Наиболее значимыми в области проектирования карьеров являются труды: Л.Д.Шевякова, Е.Ф.Шешко, Н.В.Мельникова, В.В.Ржевского, А.И.Арсентьева, В.С.Хохрякова, К.Н.Трубецкого, Ю.И.Анистратова, Б.П.Юматова.

При проектировании карьеров на новых месторождениях или реконструкции и перевооружении действующих в первую очередь определяются главные параметры карьера, которыми являются - конечная глубина -  $H$ ; размеры по дну -  $L$  и  $L_d$ ; углы наклона бортов карьера в рабочей зоне  $\beta_{раб.}$  и при погашении -  $\beta_{мав.}$ ; границы карьера на уровне дневной поверхности; объём горной массы в контурах карьера -  $V_{ГМ}$ ; запасы полезного ископаемого в контуре карьера -  $V_{П}$ ; максимально возможная производительность карьера по полезному ископаемому и производительность по вскрыше. Они определяют капитальные вложения

на освоение месторождения и эффективность его эксплуатационного периода, а, следовательно, все экономические показатели.

В проектной практике в настоящее время для определения главных параметров карьера для пластообразных, вытянутых по простиранию залежей используются графические методы академика В.В. Ржевского, для мощных рудных тел д.т.н. А.И. Арсентьева. Они наглядны, полностью учитывают природные и технические особенности месторождения и позволяют для выбора рационального сравнение всех вариантов развития горных работ. Однако эти методы трудоемки, требуют большого количества времени и затрат.

Помимо этого, широкое распространение получили компьютерные методы. Сегодня в мире существуют более 100 разнообразных компьютерных программ, пакетов и систем для решения специфических горных задач. Среди них наиболее известные у нас Datamine, Vulcan, MineScape, Techbase, Surpack. Однако эти программы построены на принципах использования исходных данных требующих разработки математической модели месторождения, не отражают реального развития горных работ во времени, получения конечных результатов в закрытом виде, что не позволяет использовать широкий диапазон технических и экономических решений в каждом этапе отработки месторождения для получения надёжных и экономически эффективных результатов.

Использование этих моделей для оперативной оценки на стадиях обоснования инвестиций и эффективности открытой разработки практически невозможно.

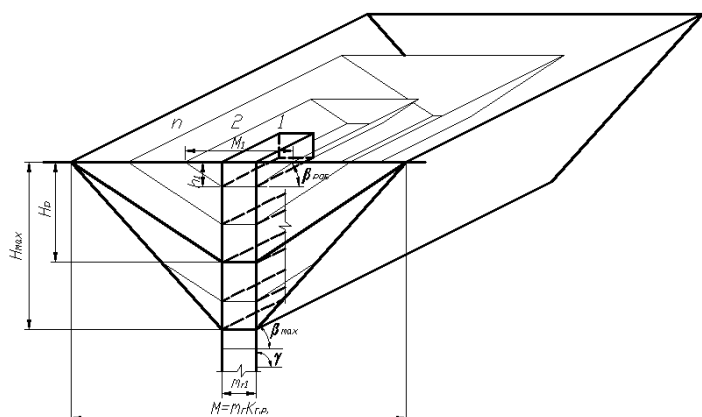
В связи с этим, для определения главных параметров карьера в проектной практике на стадии определения эффективности инвестиций в разработку новых или реконструкции и перевооружения, действующих необходимо совместить достоинства наглядных графических методов известных отечественных ученых с преимуществами в скорости получения результатов анализа месторождения на ЭВМ.

## **2. Формализация конструкций эксплуатационного пространства и рабочей зоны карьера и создание математической модели компьютерных расчётов главных параметров карьера в интерактивном режиме.**

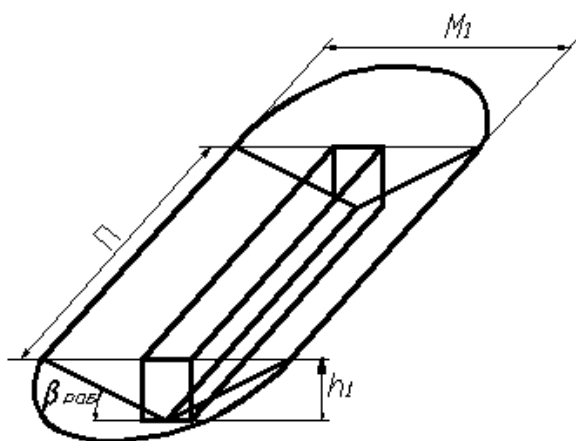
Для создания математических моделей компьютерных расчётов всё разнообразие геологических условий месторождений было разделено на 4 типа: крутопадающие и наклонные, горизонтальные и пологие пластообразные, жильные и штокообразные, мощные месторождения.

Первый тип месторождения характеризуется распространением эксплуатационного пространства вглубь по длине всего месторождения. Геометрическая модель рабочей зоны карьера с *пластообразной залежью*

представляет собой сумму  $V_{\Pi} + V_{\kappa}$  - призмы  $V_{\Pi} = \Pi M$ , и конуса  $V_{\kappa}$  с диаметром  $1/2M$  (рис. 1).



а) эксплуатационное пространство карьера



б) рабочая зона этапа

исходные данные:

$M_{\Gamma}$  - горизонтальная мощность рудного тела в каждом этапе;

$h_1$  - величина углубки работ в этапе;

$\Gamma$  - простираение рудного тела;

$M_1$  - разнос борта карьера в этапе;

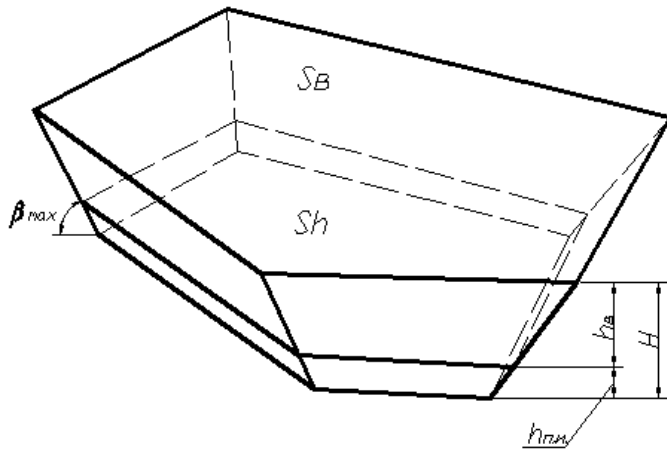
$\beta_{раб}$  - угол откоса рабочего борта карьера;

$\beta_{max}$  - угол откоса борта карьера при погашении.

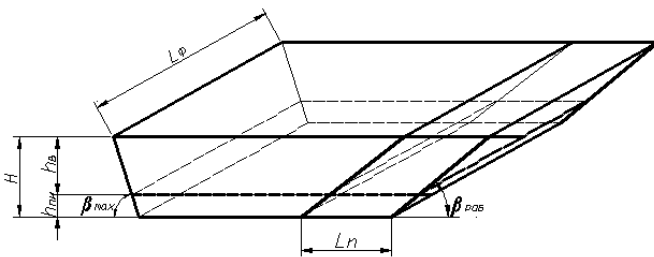
Рис. 1. Геометрическая модель эксплуатационного пространства и рабочей зоны карьера крутопадающих и наклонных пластообразных залежей

Геометрическая модель эксплуатационного пространства карьера *горизонтальных и пологих пластообразных залежей* представляет собой усеченную пирамиду с параметрами: площади оснований – верхняя  $S_{\text{в}}$ , нижняя  $S_{\text{н}}$  и высота  $H$  (рис.2).

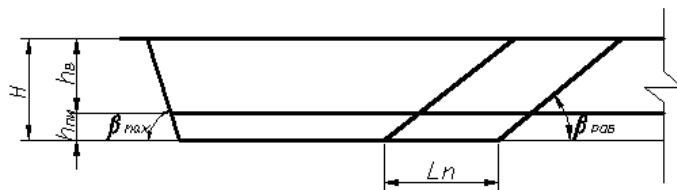




а) эксплуатационное пространство карьера



б) рабочая зона этапа



в) исходные данные:

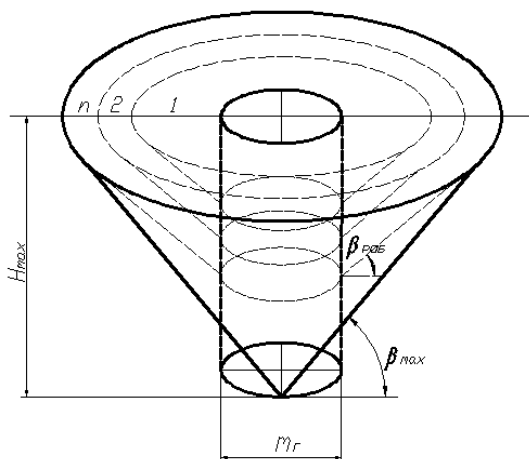
$h_B$  – мощность вскрыши;

$h_{пл}$  – мощность полезного ископаемого;

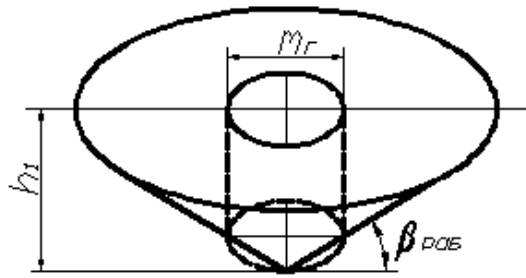
$\beta_{р.аб}$  – угол откоса рабочего борта карьера.

Рис. 2. Геометрическая модель эксплуатационного пространства и рабочей зоны карьера горизонтальных и пологих пластообразных залежей.

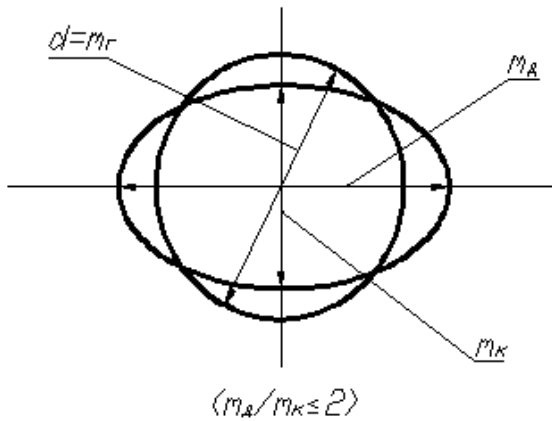
Геометрическая модель эксплуатационного пространства карьера жильных и штокообразных округлых в плане залежей представляет собой усеченный конус с диаметром дна равного  $d=(m_d + m_k)/2$ . (рис. 3).



а) эксплуатационное пространство карьера



б) рабочая зона этапа



в) исходные данные:

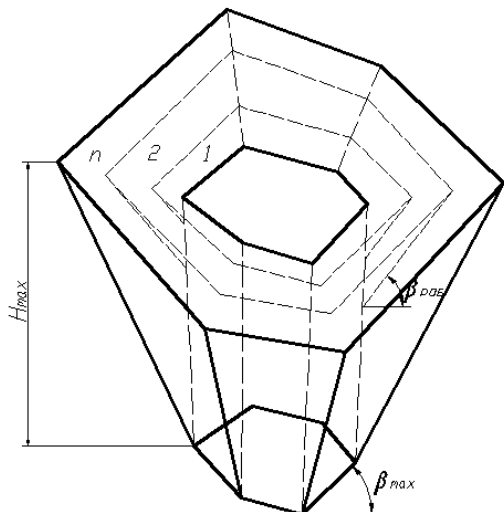
$m_d$  и  $m_k$  – размер длинной и короткой осей;

$d = m_r = (m_d + m_k) / 2$  – диаметр рудного тела;

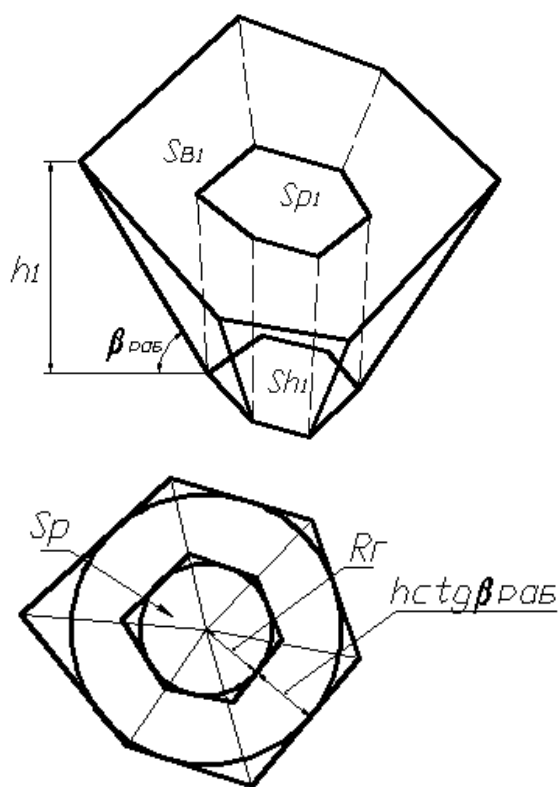
$\beta_{\text{раб}}$  – угол откоса рабочего борта карьера.

Рис. 3. Геометрическая модель эксплуатационного пространства и рабочей зоны карьера жильных и штокообразных округлых в плане залежей.

Геометрическая модель эксплуатационного пространства карьера мощных рудных залежей представляет собой усеченную пирамиду с параметрами: площади оснований – верхняя  $S_v$ , нижняя  $S_n$  и высота  $H$  (рис. 4.)



а) эксплуатационное пространство карьера



б) рабочая зона этапа

в) исходные данные:

$S_p$  – площадь рудного тела или

$R_p = \sqrt{\frac{S_p}{\pi}}$  – радиус вписанной в него

окружности;

$\beta_{\text{раб}}$  – угол откоса рабочего борта карьера.

Рис. 4. Геометрическая модель эксплуатационного пространства и рабочей зоны карьера мощных рудных залежей

Для каждого типа предложены математические зависимости расчёта объемов горной массы каждого этапа, с управляемым оператором в интерактивном режиме параметрами: величиной этапа по глубине, который зависит от стабильности параметров полезного ископаемого, и углом откоса рабочего борта карьера, зависящего от предполагаемой технологии отработки и механизации горных работ.

Исходные данные, используемые для расчетов по данному методу, не требуют блочной геологической модели. Достаточно первичной геологической информации в виде геологических разрезов или погоризонтных планов, которые использует оператор - проектировщик.

Алгоритм использования метода в интерактивном режиме (оператор – ЭВМ) предусматривает следующую последовательность действий.

Для пластообразных крутопадающих и наклонных залежей в зависимости от сложности геологического строения залежи пользователь вначале с учетом масштаба чертежа выбирает в нужном направлении величину этапа углубления горных работ ( $h$ ). В каждом этапе на геологическом разрезе измеряется горизонтальная мощность рудного тела ( $m_z$ ), а на плане простирание рудного тела ( $l$ ). Предполагая возможную для данного варианта технологии разработки месторождения, пользователь принимает рабочие углы откоса бортов карьера –  $\beta_{\text{раб}}$ .

Далее для первого и следующих этапов рассчитываются - разнос бортов карьера под углом  $\beta_{pac}$ , объем горной массы, объем полезного ископаемого, объем вскрыши и текущий коэффициент вскрыши, который на экране компьютера отражается в виде графика.

После достижения максимального разнота бортов карьера под рабочими углами, соответствующего условию  $k_m = k_{cp}$ , т.е. предельной эффективности затрат на добычу полезного ископаемого с разнотом бортов карьера под рабочими углами до поверхности. Из этих контуров оператором отстраиваются борта карьера с учётом природных условий и технологии отработки месторождения в эксплуатационном пространстве под углами погашения  $\beta_{max}$ .

Далее продолжаютя расчёты параметров эксплуатационного пространства карьера под углом погашения горных работ: глубина карьера при максимальном разноте бортов карьера под рабочими углами, максимальная глубина карьера под углами бортов карьера при погашении, объем полезного ископаемого в максимальном контуре карьера, объем вскрыши в максимальном контуре карьера, средний коэффициент вскрыши в максимальном контуре карьера, количество этапов отработки карьера, максимально возможная по природным и технологическим ограничениям производительность карьера по полезному ископаемому, время отработки каждого этапа, необходимая годовая производительность по вскрыше в каждом этапе, количество экскаваторов для полезного ископаемого, количество экскаваторов для вскрыши.

Все эти результаты автоматически фиксируются на календарном графике горных работ, в котором отражается максимально возможная производительность по полезному ископаемому и усреднённая на период 10-15 лет производительность по вскрыше. Это период полной амортизации оборудования и необходимости его модернизации или изменения технологии. На графике по оси абсцисс указываются годы эксплуатации месторождения, ниже в этом же масштабе времени последовательно отражается продолжительность отработки каждого этапа. По оси ординат в виде горизонтальных линий в каждом этапе указывается годовая производительность карьера по полезному ископаемому и необходимая по горно-геологическим условиям производительность по вскрыше и количество экскаваторов для полезного ископаемого и для вскрыши (рис.5).

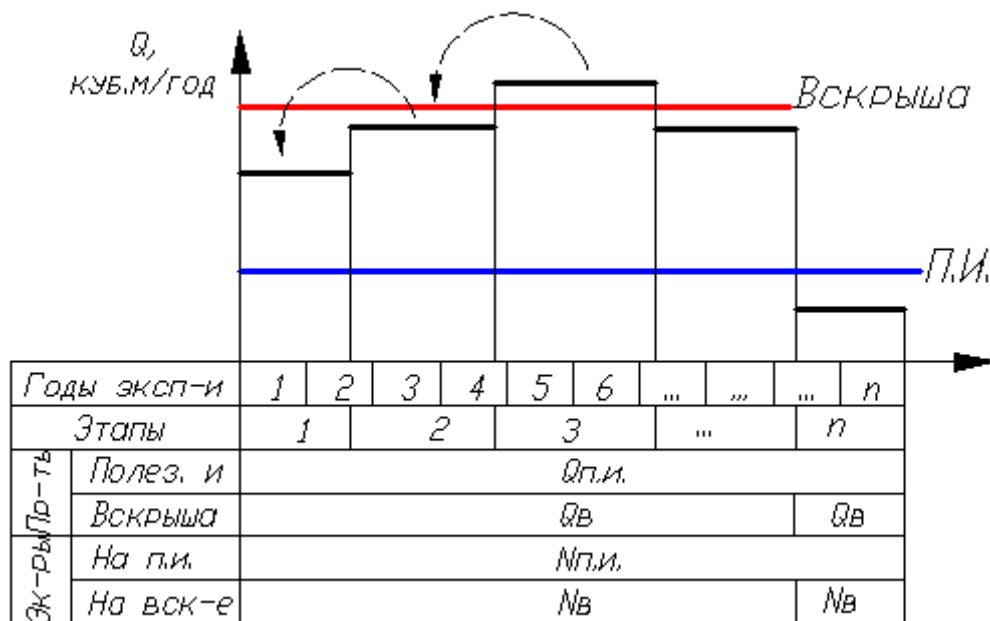


Рис. 5. Календарный график горных работ на карьере

График вскрышных работ, вследствие геологических особенностей месторождения, получается ступенчатый и для эффективной работ горного предприятия подлежит усреднению. Целью усреднения является получение стабильной годовой производительности карьера в течение периода не менее срока амортизации основного горнотранспортного оборудования при обеспечении эффективной и безопасной работ карьера.

Усреднение и оптимизация объёмов вскрыши в календарном графике осуществляется оператором регулированием угла откоса рабочего борта карьера.

После получения календарных объёмов вскрыши и объема полезного ископаемого программой предусматривается расчёт количества необходимого основного выемочно-погрузочного оборудования, по которому в зависимости от его параметров программой предусматривается расчёт количества добычных и вскрышных горизонтов рабочей зоны карьера, а в них технологических потоков с необходимым оборудованием для горнотранспортных работ.

Выбор бурового станка производится по диаметру скважины для размещения в ней необходимого количества взрывчатого вещества, которое обеспечит для конкретного экскаватора дробление массива в необходимой степени. Метод базируется на энергетической теории с учётом свойств массива природно-технологической зоны, параметров экскавационного оборудования, свойств взрывчатого вещества, технологических параметров потока и организации в нём работ.

Транспортные средства для вскрышного и добычного технологических потоков рассчитываются для первого периода эксплуатации карьера (7-10 лет), т.е. глубины отработки  $H = 100-150\text{м}$ .

Для горизонтальных и пологих пластообразных залежей алгоритм последовательности действий расчёта параметров отличается от вышеизложенного выбором направления развития горных работ.

Для жильных и мощных залежей алгоритм последовательности действий расчёта параметров аналогичен вышеизложенному для пластообразных крутопадающих и наклонных залежей.

Глубина карьеров по добыче наиболее ценных цветных, драгоценных, полиметаллических, радиоактивных и алмазных полезных ископаемых обычно имеют значительную максимальную глубину (500-700 м). При отработке этих месторождений традиционными способами под рабочими углами бортов карьера, объем вскрышных работ увеличивается довольно продолжительное время (более 15-20 лет). Это удорожает производство.

Сокращение затрат достигается разделением конечной контура карьера на этих месторождениях на промежуточные стадии с глубиной, позволяющей эффективно обрабатывать каждую стадию по принципу эффективности вскрытия рабочей зоны одним или комбинированным видом транспорта (рис. 6). Борта эксплуатационного пространства промежуточных стадий отстраиваются под углами погашения или близкими к нему, а отработка рабочей зоны производится под рабочими углами бортов карьера (рис.7).

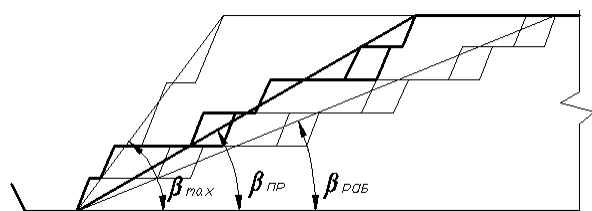


Рис. 6. Конструкция борта карьера промежуточного этапа

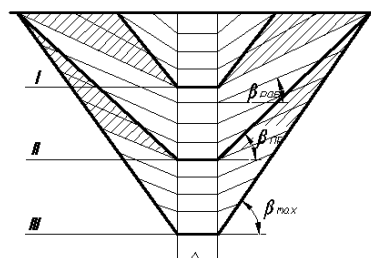


Рис.7 Отработка месторождения промежуточными стадиями

Разделение конечного эксплуатационного пространства на промежуточные стадии по глубине под углом погашения или близким к нему позволяет существенно уменьшить затраты на вскрышные работы в контуре первой стадии (заштрихованная область на рис. 7).

Известно, что затраты на транспорт вскрыши составляет 70% от общих затрат на добычу открытым способом, поэтому отработка месторождения с промежуточными стадиями позволяет уменьшить затраты на транспорт созданием временных отвалов на близком расстоянии от отработанного контура с последующим переносом их вместе со вскрышей следующего контура.

После отработки промежуточной стадии (10-15 лет) появляется необходимость модернизации оборудования и технологии разработки. Известно, что ежегодный технический прогресс составляет 7-8%, поэтому после 10-15 лет техника, которая использовалась на разработке первой стадии, потребует замены. В этом случае при отработке следующей стадии оставленные объёмы вскрыши от предыдущей будут отработаны с применением новой техники и технологии так же эффективно, с которой отработана первая промежуточная стадия.

При этом порядке отработки месторождения календарный график вскрышных и добычных работ приобретает ступенчатую форму с практически постоянным коэффициентом вскрыши в каждой промежуточной стадии, а это ведёт к финансовой стабильности и технических и технологических показателей в каждом промежуточном контуре.

## 2. Программирование математической модели для определения главных параметров карьера

На основе предложенного метода была разработана компьютерная программа расчёта всех элементов предлагаемого метода. Компьютер выводит на экран графические и цифровые результаты решения задачи в каждом элементе программы. Принцип работы этой программы заключается в интерактивном введении исходных данных и автоматическом расчёте необходимых параметров. Это позволяет оператору в каждом этапе расчётов рассмотреть несколько вариантов с разными исходными данными, т.е. решить несколько задач и выбрать оптимальное значение.

Для начала работы пользователю необходимо выбрать типа месторождения (рис. 8).

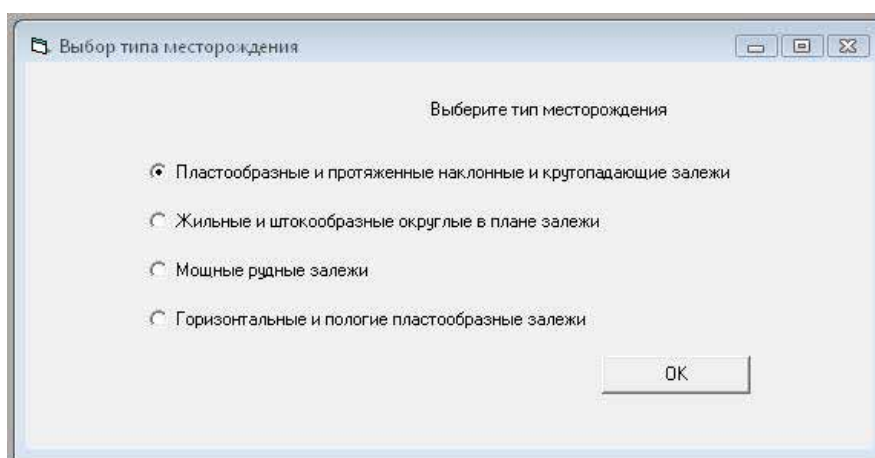


Рис. 8. Начало работы приложения для определения главных параметров карьера.

Дальнейший расчёт происходит в диалоговом режиме, где пользователю предлагается последовательно вводить исходные данные в поля программы (рис. 9). Результат расчёта выводится на экран.

The image shows a software interface with a main window and a dialog box. The main window, titled "1 этап", has a light blue background and contains four input fields with numerical values: "Глубина этапа, h (м)" with 20, "Угол откоса рабочего борта карьера, в (град)" with 30, "Горизонтальная мощность рудного тела, m г (м)" with 15, and "Простираание рудного тела, П (м)" with 1000. Below these fields are two buttons: "Расчёт" and "Далее >". A smaller dialog box titled "ввод Kгр" is overlaid on the main window. It has a white background and contains the text "введите Kгр" and a text input field with the value "10". There are "OK" and "Отмена" buttons in the dialog box.

Рис. 9. Ввод исходных данных в окно программы. Диалоговый режим работы

#### **4. Исследование зависимости главных параметров карьера от природных условий месторождения.**

Помимо определения главных параметров предложенный метод позволяет провести исследование зависимости главных параметров карьера от регулируемых элементов системы разработки и вскрытия, что оказывает помощь оператору в выборе варианта корректировки, так как зависимость позволяет определить какие параметры и в какой степени изменятся при изменении тех или иных исходных данных.

Исследование зависимости параметров карьера от угла откоса рабочего борта карьера от его минимального значения  $18^{\circ}$  до максимального, равного  $30^{\circ}$  позволил сделать следующие выводы:

- угол откоса рабочего борта карьера в период освоения месторождения влияет на величину горно-капитальных работ и вскрытие очередного горизонта на наклонных и крутопадающих месторождениях. Величина угла откоса рабочего борта карьера зависит от ширины рабочей площадки и высоты уступа. Чем меньше ширина рабочей площадки, больше высота уступа, тем больше величина угла откоса рабочего борта карьера;

- при увеличении угла откоса рабочего борта карьера объем горной массы и вскрыши уменьшаются, а объем полезного ископаемого остаётся без изменения. Увеличивая угол откоса рабочего борта карьера можно



сократить объемы вскрыши (рис. 10). Регулирование угла откоса рабочего борта карьера позволяет в зависимости от колебания цен на сырье. Для сокращения затрат на вскрышу в трудный период, увеличить угол откоса рабочего борта карьера, тем самым сохранить уровень эффективности открытых горных работ, а при увеличении спроса на сырье, или его цены, увеличить затраты на вскрышу, уменьшая угол откоса рабочего борта карьера. Это позволяет стабилизировать экономические показатели карьера на длительный период;

- при увеличении угла откоса рабочего борта карьера максимальный разнос бортов и максимальная глубина карьера уменьшаются (рис. 11);

- угол откоса нерабочего борта карьера зависит от устойчивости массива горных пород и его конструкции. Угол откоса борта карьера оказывает существенное влияние на эффективность открытых горных работ;

- с увеличением угла откоса борта при погашении увеличиваются объемы горной массы, вскрыши и полезного ископаемого (рис. 12);

- с увеличением угла откоса борта при погашении максимальный разнос бортов карьера не изменяется, так как эта величина зависит только от угла откоса рабочего борта карьера, достигается при условии равенства текущего и граничного коэффициентов вскрыши и остаётся неизменной после этого. При этом максимальная глубина карьера увеличивается при увеличении угла откоса борта при погашении (рис. 13).

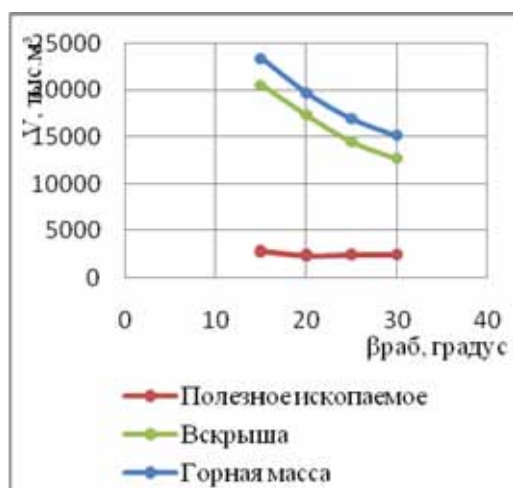


Рис. 10. Зависимость объёма горной массы, вскрыши и полезного ископаемого от угла откоса рабочего борта карьера

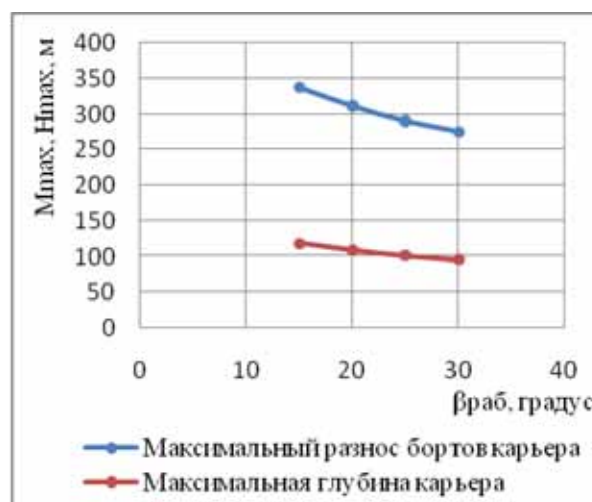


Рис. 11. Зависимость максимального разноса и максимальной глубины от угла откоса рабочего борта карьера

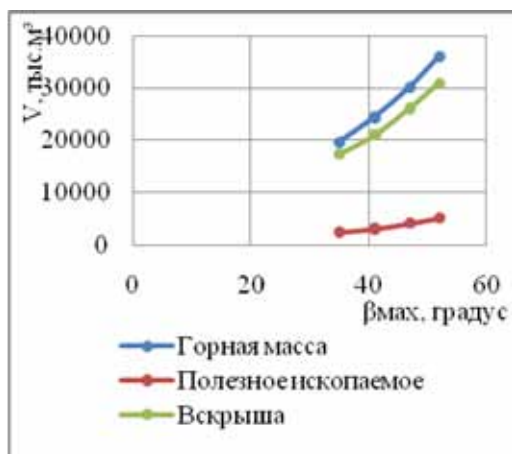


Рис. 12. Зависимость объёма горной массы, вскрыши и полезного ископаемого от угла откоса борта карьера при погашении

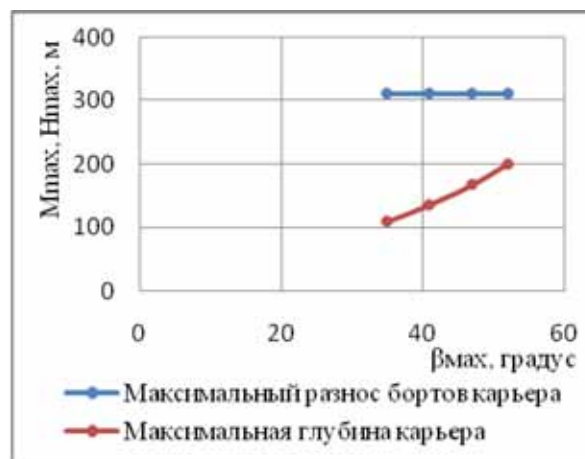


Рис. 13. Зависимость максимальной глубины и максимального разноса от угла борта карьера при погашении

Известно, что с увеличением производительности горного предприятия увеличивается эффективность его эксплуатации и повышается рентабельность, а все это ведёт к увеличению прибыли проектируемого предприятия. Наиболее существенное влияние на возможную производительность оказывается скорость углубления. В настоящее время она составляет при железнодорожном транспорте 10 м/год, при автомобильном – 15 м/год. Однако, при совершенствовании методов проведения вскрывающих горных выработок на рабочих горизонтах, за счёт технических средств и технологий, возможно увеличение темпов углубления горных работ до 30 м/год, а следовательно увеличить производительность карьера в несколько раз, что важно на стадии бизнес-плана и экономического обоснования, где заказчик требует определить максимально возможную производительность по полезному ископаемому.

### **5. Определение эффективности использования предложенного метода для определения главных параметров карьера путём математического моделирования в природных условиях Ведугинского полиметаллического месторождения.**

Эффективность предложенного метода оценена на примере Ведугинского золоторудного месторождения.

Расчёт аналогичных параметров в проектном институте производится по методикам аналогичным для проектирования технических проектов и занимает значительное время и большое число исполнителей. Все эти расчеты проводятся вручную.

Использование компьютерного пакета программ DATAMINE трудоёмко. Во-первых, программа полностью на английском языке, что замедляет процесс расчётов, так как некоторые исходные и конечные определения параметров могут быть не однозначно истолкованы, что приведёт к ошибке расчета в начале, либо к неверному определению полученных результатов. Во-вторых, для того, чтобы оценить необходимые величины, требуется провести весь анализ до конца. В этом случае, разница во времени работы по программе DATAMINE и предложенной программой существенно различаются. За время, потраченное программой DATAMINE на оценку одного набора исходных значений в предложенной нами программе можно провести несколько аналогичных расчётов и выбрать из них оптимальный. Кроме того, чтобы оценить различные значения исходных параметров, для работы в программе DATAMINE необходимо участие нескольких людей, каждый из которых будет считать свой вариант. В то время как предложенной нами программой все расчеты может проводить один человек за короткий промежуток времени.

Таким образом, чтобы просчитать возможные варианты в предложенной нами программе может понадобиться от 1 до 3 часов, в зависимости от количества вариантов, и весь процесс может быть выполнен одним человеком. В работе по методике проектного института для аналогичного расчёта требуется работа целого отдела проектировщиков и течение 5 – 7 дней (сюда входит время на ручной подсчёт коэффициента вскрыши, углов наклона бортов карьера и т.п, а так же моделирование в программе DATAMINE).

Исходя из приведенного выше, можно сделать приблизительный расчет экономических затрат на анализ одного объекта по существующим методам и предложенной нами программе.

Полноценно оценить экономические затраты на проектирование сложно, ввиду того, что в эти расходы следует включить и стоимость программ, и стоимость обучения персонала для работы с ними, однако можно оценить затраты непосредственно на сам процесс проектирования в стадии бизнес-проекта или экономического обоснования эффективности инвестиций в разработку нового месторождения или реконструкцию и перевооружения действующего карьера. Экономические затраты на проектирование предлагаемым методом на 5% ниже, трудозатраты на 7%, а скорость получения конечных результатов меньше в 56 раз.

Конечно, при комплексной оценке и расчёта всех значений в полном техническом проекте, программа DATAMINE является необходимым инструментом для проектировщика, но для первоначального анализа её использование слишком трудоёмко и занимает значительно больше времени, чем при анализе предложенной нами программой.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение задачи - создание метода проектирования главных параметров карьера на ЭВМ в интерактивном режиме для оценки эффективности инвестиций в разработку месторождений открытым способом на основе объемно-поэтапного моделирования развития горных работ с использованием в динамике геометрической конструкции эксплуатационного пространства карьера с учётом геологического типа месторождения, что имеет существенное значение для теории и практики проектирования открытых горных работ.

### **Основные научные и практические результаты работы заканчиваются в следующем.**

1. Существующие методы определения главных параметров карьера позволяют проводить геологическое моделирование, проектирование и планирование горных работ на карьере, с помощью пакетов программ, которые автоматизируют все действия, связанные с обработкой большого количества информации, формированием отчётов, построения графики, однако они не отражают реального порядка ведения горных работ на карьере, что приводит к искажению результирующего календарного графика распределения объёмов вскрышных и добычных работ в эксплуатационный период.

2. Предложенный метод объемно-поэтапного моделирования развития горных работ в интерактивном режиме с использованием в динамике геометрической конструкции эксплуатационного пространства карьера с учётом геологического типа месторождения учитывает реальную технологию отработки месторождения, позволяет определить главные параметры карьера (промежуточные и конечные контуры, поэтапные объёмы горной массы, полезного ископаемого и вскрыши, максимально возможную производительность карьера по полезному ископаемому), календарь усреднённых годовых объёмов вскрыши и возможных объёмов добычных работ с расчётом количества горного и транспортного оборудования для производства горных работ по наиболее эффективной технологии разработки месторождения в конкретных природных условиях.

3. Для автоматизации предложенного метода расчёта главных параметров карьера создана программа, работающая в интерактивном режиме и сочетающая в себе наглядность, быстроту получения конечного результата и отображение реального процесса ведения горных работ на карьере.

4. Наиболее целесообразным является использование этого метода в начальных стадиях проектирования – бизнес-плане и обосновании эффективности инвестиций.

5. Предложенный метод позволил установить зависимости главных параметров карьера от угла откоса рабочего борта карьера, угла откоса борта карьера при погашении, а так же зависимость максимальной производительности карьера по полезному ископаемому от скорости углубления горных работ, которые позволяют проектировщику-оператору принимать оптимальные решения в интерактивном режиме в зависимости от геологических условий и возможной технологии разработки.

6. Сравнение результатов проектирования карьера на полиметаллическом месторождении с использованием программы DATAMINE и предложенного метода показало, что на начальных стадиях проектирования при использовании предложенного метода, экономические затраты на проектирования ниже на 5%, трудозатраты на 7%, а скорость получения конечных результатов в 56 раз меньше.

7. Использование изложенного в работе метода дает возможность за относительно короткое время оценить несколько различных вариантов, изменяя исходных данные в зависимости от выбранной технологии разработки, механизации горных работ

8. Исследование предложенным методом эффективности разделения конечного контура глубоких карьеров на промежуточные по глубине стадии отработки, соответствующие эффективно использованию однотипного или комбинированного транспорта, с углами откосов промежуточных контуров равными или близкими к углу погашения показало, что эффективность отработки каждого контура увеличивается в 3 раза, а по месторождению в целом в 7 раз за счёт переноса части объемов вскрыши с начальных контуров на последующие, которые будут отработаны с применением новой технологии и техники.

### **Основные результаты работы опубликованы в следующих работах:**

1. Рунова С.В. «Исследование зависимости главных параметров карьера от природных условий месторождения». Журнал «Маркшейдерский вестник» №5, г. Москва 2010 г.
2. Анистратов Ю.И., Рунова С.В. «Математические модели определения главных параметров открытой разработки месторождения и расчета комплекта оборудования для производства горных работ на карьере». Журнал «Геология и разведка» №1, г. Москва 2011 г.
3. Анистратов Ю.И., Рунова С.В. «Создание метода определения главных параметров карьера путём объемно-поэтапного моделирования рабочей зоны карьера в интерактивном режиме на ЭВМ». Журнал «Горный журнал» №1, г. Москва 2011 г.