

Федеральное государственное автономное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Федотов Григорий Сергеевич

ОБОСНОВАНИЕ КОНЕЧНЫХ КОНТУРОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ С УЧЕТОМ СХЕМЫ  
ВСКРЫТИЯ

Специальность 25.00.21

Теоретические основы проектирования горнотехнических систем

Автореферат диссертации

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: к.т.н., доц. Пастихин Денис Валерьевич

Москва – 2020

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Одной из основных задач проектирования открытых горных работ является обоснование конечных контуров карьера. От решений, принятых на данном этапе, зависит экономическая эффективность и рентабельность разработки месторождения. Большой вклад в развитие теории проектирования карьеров внесли такие выдающиеся представители отечественной научной школы, как акад. В.В. Ржевский, акад. К.Н. Трубецкой, проф. А.И. Арсентьев, проф. Г.А. Холодняков, проф. В.С. Хохряков и другие. Предложенные ими подходы, способы и методы обоснования конечных контуров карьера в большинстве своем основываются на определении граничного коэффициента вскрыши и применяются в практике проектирования по настоящее время.

Развитие компьютерной техники и информационных технологий способствовало как развитию традиционных, так и появлению принципиально новых подходов к обоснованию конечных контуров карьеров, которые в большинстве случаев реализуются в виде пакетов программ. На сегодняшний день преобладающая часть проектных организаций использует специализированные пакеты программ, в которых реализованы оптимизационные методы определения конечных контуров карьера. Помимо целого ряда достоинств, данные методы имеют определенные недостатки. Так, например, в ходе процесса оптимизации не учитывается в полной мере конструкция борта карьера, то есть наличие площадок различной ширины на горизонтах, а также форма борта, что может сказаться на главных параметрах карьера и, соответственно, на эффективности проекта. Другой существенный недостаток связан с отсутствием методического подхода к интерпретации результатов оптимизации. В ходе проектирования контура карьера на основе контура, полученного в результате оптимизационных расчетов, выполняется построение берм безопасности, транспортных берм и съездов, откосов уступов. Это приводит к изменению контура карьера по отношению к контуру, полученному при оптимизации, а следовательно, полученный контур нельзя назвать оптимальным.

Отсутствие научных и методических основ в вопросах обоснования конечных контуров карьера при работе с результатами оптимизации привело к тому, что в сложившейся практике проектирования считается вполне допустимым, если валовая прибыль от реализации добытого полезного ископаемого в проектных контурах карьера уменьшается по сравнению с валовой прибылью, рассчитанной для «оптимальных» контуров карьера. В связи с этим в зарубежной литературе появился термин «снижение экономической ценности конечного контура карьера». Величина этого «снижения» может превышать 10-15%, что для крупных, глубоких карьеров со значительными запасами полезного ископаемого приводит к весьма существенным финансовым потерям. Таким образом, вопрос обоснования конечных контуров глубоких карьеров с учетом схемы вскрытия является актуальной научной задачей.

**Цель работы.** Разработка научно-методических основ обоснования конечных контуров глубоких карьеров на основе оптимизационных методов с учетом схемы вскрытия, обеспечивающих высокие технико-экономические показатели горных предприятий.

**Идея работы.** При обосновании конечных контуров карьеров необходимо учитывать схему вскрытия и параметры вскрывающих траншей.

**Объект исследований.** Крутопадающее месторождение полезных ископаемых.

**Предмет исследований.** Конечный контур карьера.

**Основные задачи исследований.**

1. Анализ подходов, принципов и методов обоснования конечных контуров карьера.
2. Разработка и построение математических моделей карьеров различной формы.
3. Исследование влияния схемы вскрытия и параметров вскрывающих траншей на конструкцию нерабочих бортов карьера и объем горной массы в контуре карьера.

4. Исследование влияния размера блоков блочной модели и их технико-экономических характеристик на положение уступов при проектировании конечных контуров карьера.

5. Разработка алгоритма оптимизации положения трассы вскрывающих траншей в конечном контуре карьера.

6. Разработка и апробация методики оптимизации конечных контуров глубоких карьеров.

**Методы исследований.** Для решения задач исследования был применен многоаспектный подход, который включал в себя всесторонний анализ работ в области обоснования конечных контуров карьеров, изучение проектной документации, математическое моделирование, статистическую обработку результатов моделирования.

**Основные научные положения, выносимые на защиту:**

1. Зависимость объема горной массы в конечном контуре карьера от конструкции нерабочих бортов карьера, определенной с учетом схемы вскрытия и параметров вскрывающих траншей.

2. Положение уступов при проектировании конечных контуров карьеров с использованием оптимальных оболочек, полученных на основе блочных моделей месторождений, должно определяться с учетом размера блоков модели и их технико-экономических характеристик.

3. Методика обоснования конечных контуров глубоких карьеров, учитывающая схему вскрытия и позволяющая сформировать конечный контур карьера, обеспечивающий максимальную валовую прибыль при отработке находящихся в нем запасов.

**Научная новизна работы.**

1. Установлена зависимость объема горной массы в конечном контуре карьера от конструкции нерабочих бортов карьера, определенной с учетом схемы вскрытия и параметров вскрывающих траншей.

2. Установлено влияние технико-экономических характеристик блоков блочной модели месторождения и их размеров на положение уступов при

проектировании конечного контура карьера с использованием оптимальных оболочек, полученных на основе блочных моделей месторождений.

3. Разработан алгоритм оптимизации положения трассы вскрывающих траншей в контуре карьера, полученном на основании оптимальной оболочки.

4. Разработана методика обоснования конечных контуров карьеров, учитывающая схему вскрытия, геометрические параметры и технико-экономические характеристики блоков блочной модели и обеспечивающая максимальную валовую прибыль при отработке месторождения.

**Практическая значимость работы** в разработанных рекомендациях по проектированию конечных контуров карьера на основе блочного моделирования.

**Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается использованием современных пакетов программ при решении задач моделирования; применением современных методов исследований; результатами многочисленных вычислительных экспериментов; высокой степенью сходимости результатов вычислений с проектными показателями работы горнодобывающих предприятий.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались на: 25, 26, 27, 28 Международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (2017-2020 гг.).

**Публикации.** Основные результаты исследований опубликованы в 4 печатных работах в изданиях перечня, рекомендуемого ВАК Минобрнауки России.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 121 страницу, 3 таблицы, 25 рисунков, 2 приложения и список литературы из 113 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В первой главе** выполнен анализ опыта, научных исследований и нормативной документации в области определения конечных контуров карьеров; представлен обзор современных подходов к определению оптимальных контуров карьеров с использованием горно-геологических информационных систем (ГГИС).

**Во второй главе** описаны методы моделирования; изложено описание математических моделей карьеров и представлены результаты математического моделирования карьеров различной формы; приведена установленная в работе зависимость объема горной массы в конечном контуре карьера от конструкции нерабочих бортов карьера, определенной с учетом схемы вскрытия и параметров вскрывающих траншей.

**В третьей главе** представлено описание подхода к определению контуров карьера на основании блочного моделирования месторождения с использованием горно-геологических информационных систем; доказано влияние размеров блоков блочной модели и их технико-экономических характеристик на положение уступов в контуре карьера; изложены предложенные в работе рекомендации по определению положения уступов при проектировании контуров карьера.

**В четвертой главе** представлен алгоритм оптимизации положения трассы вскрывающих траншей в конечном контуре карьера на основании оптимальной оболочки; приведена методика обоснования конечных контуров карьеров при блочном моделировании месторождения, основанная на установленной в работе зависимости объема горной массы от конструкции нерабочих бортов карьера, определенной с учетом схемы вскрытия и параметров вскрывающих траншей и учитывающая технико-экономические характеристики и геометрические параметры блоков блочной модели и схему вскрытия.

**В пятой главе** представлены результаты обоснования конечных контуров карьера ГОКа им. В. Гриба АО «АГД Даймондс».

Основные результаты работы заключаются в следующих защищаемых научных положениях:

**1. Зависимость объема горной массы в конечном контуре карьера от конструкции нерабочих бортов карьера, определенной с учетом схемы вскрытия и параметров вскрывающих траншей.**

Для установления влияния конструкции нерабочих бортов карьера, определенной с учетом схемы вскрытия и параметров вскрывающих траншей, на

объем горной массы в конечном контуре карьера были созданы математические модели карьеров:

- При круглой и эллиптической формах дна карьера каждый уступ рассматривался как усеченный конус;

- При прямоугольной форме дна карьера каждый уступ рассматривался как усеченная пирамида.

Для каждой формы карьера были рассмотрены предельные положения трассы. Под предельными положениями понимаются положения трассы, при которых все съезды формируются внутри или снаружи контура карьера, примыкая к нему, соответственно с внутренней или внешней стороны. Примыкание с внешней стороны ведет к увеличению объема карьера. Создание съездов внутри конечного контура уменьшает объем карьера. Изменение объема пород, связанное с местоположением трассы, определялось на основании аналитической зависимости. Данная аналитическая зависимость учитывает размеры дна карьера, количество и высоту уступов, углы откосов уступов, уклоны съездов, размеры транспортных берм и горизонтальных площадок примыкания на каждом горизонте.

По результатам расчетов были построены графики изменения значений отклонения объемов горной массы при разной конструкции нерабочих бортов карьеров и разных параметрах вскрывающих выработок с увеличением глубины карьеров. В качестве примера на рисунках 1 и 2 представлены графики влияния глубины карьера с круглой формой дна на величину относительного отклонения объема горной массы, связанную с необходимостью разноса борта для размещения на нем системы вскрывающих выработок, для разных углов откосов уступов и радиусов дна карьера. Величина отклонения определялась как отношение абсолютной величины разницы объема карьера, борта которого состоят только из предохранительных берм, и объема карьера, конструкция бортов которого была изменена для размещения на них транспортных берм, к первоначальному объему.

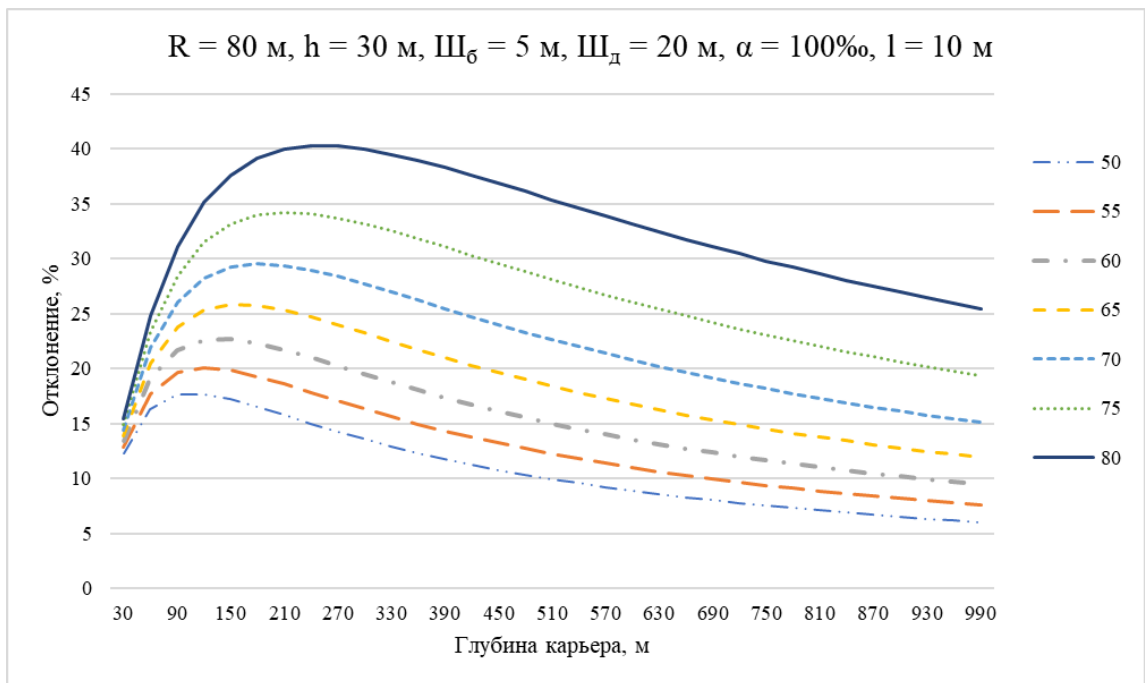


Рисунок 1 – График влияния глубины карьера на относительную величину отклонения объема горной массы в конечном контуре карьера при разных углах откосов уступов

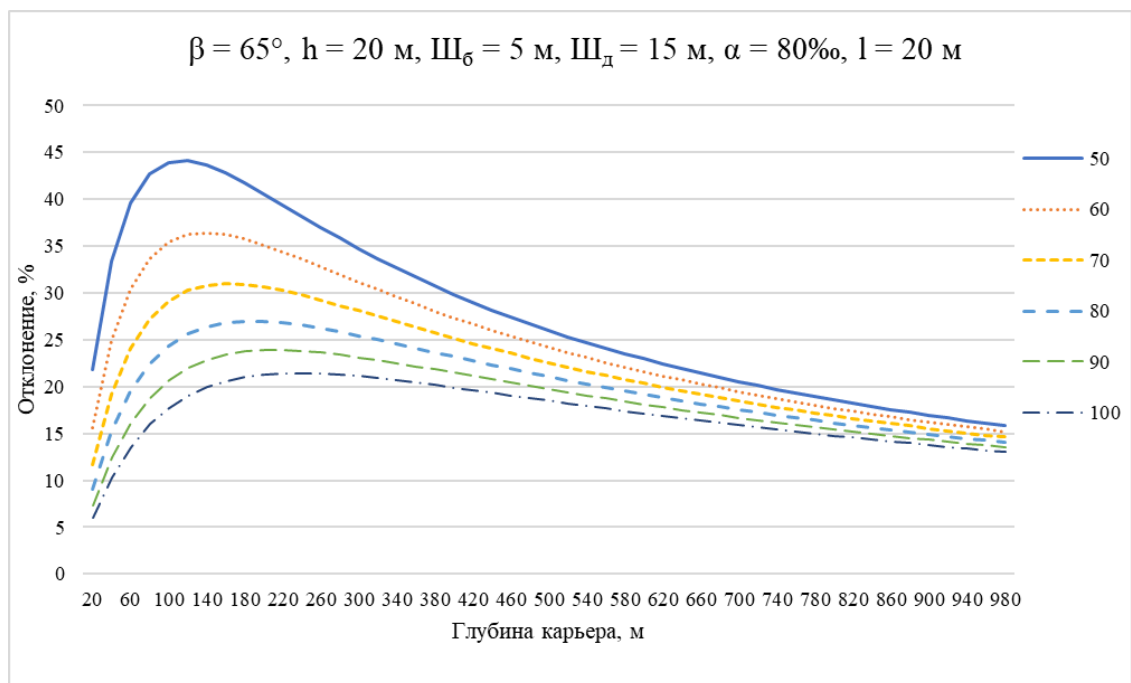


Рисунок 2 – График влияния глубины карьера на относительную величину отклонения объема горной массы в конечном контуре карьера при разных размерах дна карьера

Для оценки работоспособности, адекватности и точности созданных в работе математических моделей было выполнено построение трехмерных каркасных



моделей карьера в горно-геологической информационной системе Micromine. Были созданы модели карьеров круглой, прямоугольной и эллиптической формы. При построении использовались параметры элементов карьера, аналогичные принятым при математическом моделировании. В ходе анализа результатов сравнения математических моделей с трехмерными каркасными моделями было установлено, что величина относительной ошибки аппроксимации в среднем составила 2-3%. Модель считается хорошо подобранной и достаточно точно описывающей связь между фактическими и расчетными показателями, если величина средней относительной ошибки аппроксимации не превышает 10%. Значения величин средней квадратической погрешности наиболее надежных значений определяемых величин и максимального значения средней квадратической погрешности одного измерения из пары измерений в среднем составили 3-4% и 5-7% соответственно.

На основе анализа результатов моделирования было установлено, что зависимость объема горной массы в конечном контуре карьера от конструкции нерабочих бортов, определенной с учетом схемы вскрытия и параметров вскрывающих траншей, имеет нелинейный характер, а относительная величина отклонения в некоторых случаях может превышать 40%. При этом наибольшее влияние на величину отклонения оказывают углы откосов уступа и размер дна карьера.

Полученные зависимости свидетельствуют об изменчивости величины влияния положения трассы на объем горной массы в контуре карьера при различных глубинах. А наличие точек экстремума (максимума) на всех графиках зависимостей позволяет сделать вывод о возможности выделения диапазона глубин, при котором это влияние является наиболее существенным.

**2. Положение уступов при проектировании конечных контуров карьеров с использованием оптимальных оболочек, полученных на основе блочных моделей месторождений, должно определяться с учетом размера блоков модели и их технико-экономических характеристик.**

Современные пакеты программ, в которых реализованы оптимизационные алгоритмы определения конечных контуров карьера, работают на основе блочных

моделей месторождений. При создании блочной модели область моделирования разделяется на блоки определенного размера. Размер блоков зависит от геометрии рудного тела, распределения качественных показателей в границах зоны минерализации, параметров разведочной сети, предполагаемой высоты уступа. Каждому блоку блочной модели присваивается соответствующая экономическая оценка. Под экономической оценкой блока блочной модели понимается разница между доходом от реализации конечной продукции, полученной из полезного ископаемого в блоке, и всеми затратами, связанными с его добычей (буровзрывные работы, экскавация и т.д.) и обогащением. При этом учитываются объем блока блочной модели, физико-механические свойства пород, содержание полезного компонента в блоке, потери при добыче, разубоживание, извлечение при обогащении и т.д. В зависимости от содержания полезного компонента и объема вскрышных пород в блоке оценка может быть положительной или отрицательной. В результате оптимизационных расчетов определяется набор блоков, сумма экономических оценок которых максимальна. Контур, описывающий этот набор блоков, принято называть оптимальной оболочкой карьера.

Построение конечного контура осуществляется на основе горизонтальных сечений оптимальной оболочки, которые проводятся с шагом, равным высоте уступа. На погоризонтных планах оптимальная оболочка представлена в виде ломаной линии, отрезки которой кратны размерам блоков блочной модели. Процесс проектирования контура карьера заключается в формировании бортов карьера путем постановки уступов в их конечное положение. Положения уступов задаются линиями бровок уступов на погоризонтных планах. Как правило, процесс проектирования начинается с нижней отметки карьера, на которой выполняется построение нижней бровки уступа нижнего горизонта. В программе задаются основные параметры элементов карьера (высота уступа, ширина бермы, угол откоса уступа), на основании которых выполняется проецирование линии (нижней бровки уступа) нижележащего уступа на отметку вышележащего уступа.

В практике проектирования при построении контура карьера линии бровок уступов располагаются максимально приближенно к линиям контура, полученного

в результате оптимизации, при этом учитывается геометрия рудного тела и технологические ограничения, связанные с конструктивными параметрами выемочного и транспортного оборудования. Несовпадение линий за счет включения дополнительных вскрышных блоков или же исключения рудных блоков ведет к снижению экономической эффективности разработки месторождения по сравнению с результатами оптимизационных расчетов, выполненных ранее. В свою очередь величина снижения экономической эффективности разработки месторождения зависит от того, как распределены блоки блочной модели с различными экономическими оценками в границах каждого горизонта и по глубине. В связи с этим отклонение линий бровок уступа от линий оптимального контура карьера может оказывать разное влияние на суммарную экономическую оценку блоков внутри контура карьера (валовую прибыль от разработки месторождения).

Для исследования влияния размеров блоков и их технико-экономических характеристик на положение уступов были выбраны шесть моделей золоторудных и железорудных месторождений с принципиально различными распределениями экономических оценок блоков. На рисунке 3 представлены вертикальные разрезы, построенные для каждого из типов месторождений в ГГИС Micromine.

Для каждой модели месторождения были рассмотрены три варианта построения линий бровок уступов (рис. 4):

Вариант 1. Линия бровки располагается внутри оптимальной оболочки. Уступы находятся внутри контура, полученного в результате оптимизации. В этом случае объем вскрышных пород уменьшается и недобираются запасы полезного ископаемого.

Вариант 3. Линия бровки располагается снаружи оптимальной оболочки. Уступы находятся за пределами контура, полученного в результате оптимизации. В результате запасы полезного ископаемого полностью вовлекаются в отработку и увеличивается объем вскрышных пород.

Вариант 2. Промежуточное положение линии бровки между первым и вторым вариантом.

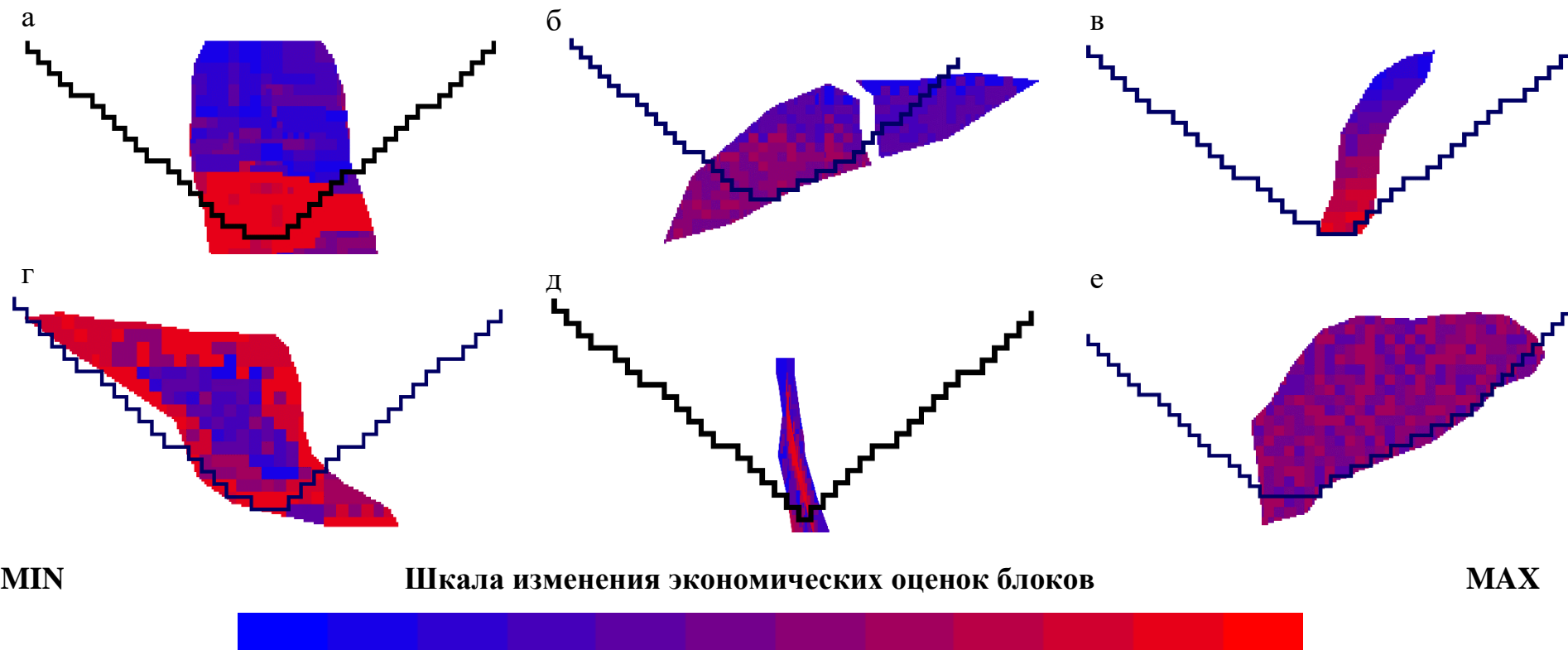


Рисунок 3 – Вертикальные разрезы моделей месторождений с различными распределениями экономических оценок блоков, построенные в ГГИС Micromine: а-е – типы моделей месторождений

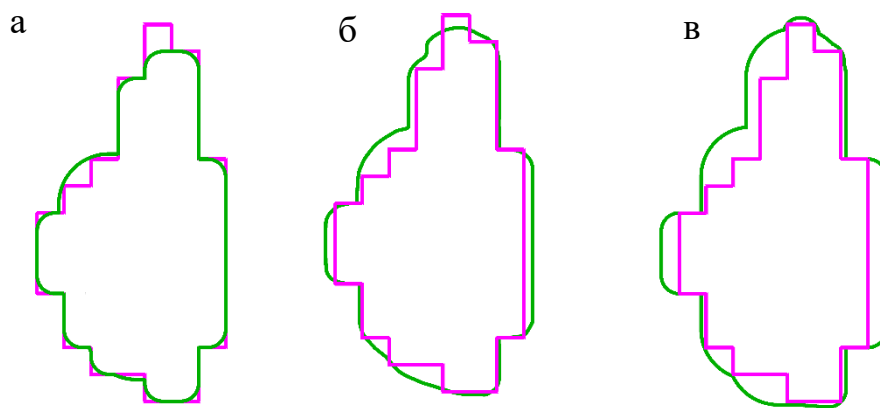


Рисунок 4 – Варианты построения линии бровки уступов проектного контура карьера относительно линии оптимальной оболочки: а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3

Размеры блоков блочных моделей изменялись от 10 до 30 метров, что было обусловлено конструктивными параметрами карьеров и техническими характеристиками оборудования. В связи с этим при интерпретации результатов оптимизации линии бровок уступов на криволинейных участках отстраивались по радиусу не менее конструктивного радиуса черпания экскаватора.

В результате моделирования было установлено, что относительная разница между объемом горной массы в оптимальной оболочке и объемом горной массы в конечном контуре карьера может находиться в диапазоне от 10% до 20%, а относительная разница валовой прибыли от реализации полезного ископаемого в них – от 4% до 7% в зависимости от размеров блоков блочной модели и их технико-экономических характеристик и способа постановки уступов в их конечном положении.

При проектировании конечного контура карьера на основании результатов оптимизации для максимизации валовой прибыли от разработки месторождения рекомендуется:

- Располагать уступы внутри оптимальной оболочки в следующих случаях:  
экономические оценки блоков увеличиваются от флангов месторождения к его середине;
- равномерное возрастание экономических оценок блоков с глубиной;

равномерное распределения экономических оценок блоков по глубине и в плане;

равномерное возрастание экономических оценок блоков по глубине от низких к средним.

- Располагать уступы снаружи оптимальной оболочки в следующих случаях:

экономические оценки блоков, расположенных на флангах залежи, имеют высокие значения;

блоки с высокими значениями экономических оценок расположены в нижней части месторождения.

**3. Методика обоснования конечных контуров глубоких карьеров, учитывающая схему вскрытия и позволяющая сформировать конечный контур карьера, обеспечивающий максимальную валовую прибыль при отработке находящихся в нем запасов.**

В результате оптимизации формируется контур карьера, представленный цифровой моделью поверхности – оптимальной оболочкой. Все блоки блочной модели ( $b$ ) образуют множество  $M$ .

Оптимальная оболочка делит все блоки блочной модели на два множества. Первое множество  $O$  состоит из блоков, расположенных внутри оптимальной оболочки. Блоки, расположенные вне оптимальной оболочки, образуют второе множество  $N$ .

$$M = (b_1, b_2, \dots, b_n), \quad (1)$$

$$O \cup N = M, \quad (2)$$

$$O \cap N = \emptyset, \quad (3)$$

где  $n$  – количество блоков блочной модели.

Суммарная экономическая оценка всех блоков ( $\Pi_6$ ) множества  $O$  максимальна.

$$\Pi_{\sigma} = \sum_{i=1}^m \Pi_i \rightarrow \max \quad (4)$$

$$b_i \in O \quad (5)$$

где  $\Pi_i$  – экономическая оценка  $i$ -го блока;  $m$  – количество блоков, находящихся в границах оптимальной оболочки.

Любое изменение количества элементов этого множества ведет к снижению суммарной экономической оценки блоков.

Размещение вскрывающих выработок в контуре карьера ведет к изменению оптимальной оболочки, а следовательно, и к изменению количества блоков множества  $O$ .

Площадка для размещения вскрывающей выработки может быть создана либо за счет изъятия блоков, расположенных над ней за оптимальной оболочкой, либо за счет оставления части блоков, расположенных под площадкой внутри оптимальной оболочки (рис. 5). Если выделить множество  $T$ , блоки которого могут быть вовлечены в формирование всех вариантов размещения площадки для транспортной бермы на горизонте, то критерием поиска оптимального положения трассы может быть условие минимизации суммарной оценки всех блоков ( $\Pi_T$ ), вовлеченных в формирование площадки для транспортной бермы, внутри этого множества. В дальнейшем множество  $T$  будет называться зоной возможного размещения вскрывающей выработки (вскрывающих выработок).

$$\Pi_T = \sum_{i=1}^k |\Pi_i| \rightarrow \min \quad (6)$$

$$b_i \in T, \quad (7)$$

где  $k$  – количество блоков, входящих в зону возможного размещения площадки вскрывающей выработки и участвующих в формировании этой площадки.

Изложенный алгоритм действий представлен на рисунке 6 в виде блок-схемы.

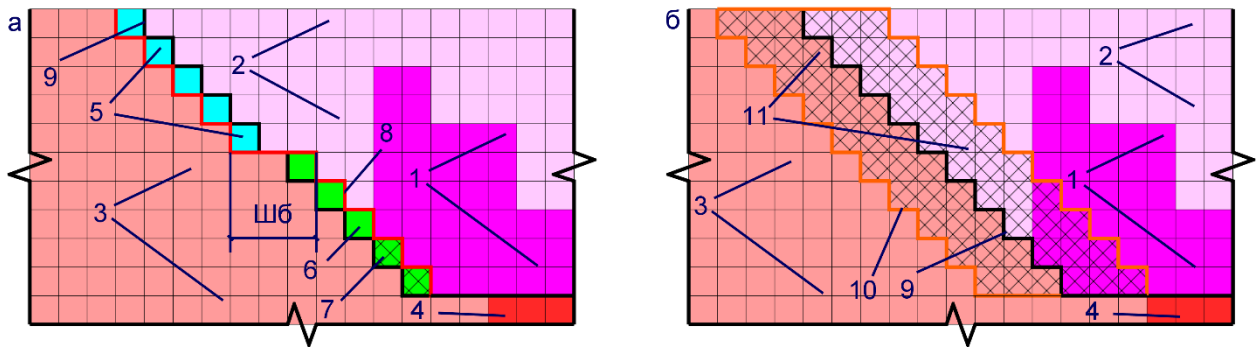


Рисунок 5 – Вертикальный разрез блочной модели месторождения с оптимальной оболочкой: а – положения оптимальной оболочки и контура с транспортными бермами; б – зона возможного размещения вскрывающих выработок; Шб – ширина транспортной бермы; 1 и 2 – блоки, содержащие руду и вскрышные породы, соответственно внутри оптимальной оболочки (множество О); 3 и 4 – блоки, содержащие вскрышные породы и руду соответственно (множество N); 5 – дополнительно извлекаемые блоки для создания транспортной бермы; 6 и 7 – блоки, содержащие соответственно вскрышные породы и руду, оставляемые для создания транспортной бермы; 8 – линия контура с транспортными бермами; 9 – линия оптимальной оболочки; 10 – линия границы зоны возможного размещения вскрывающих выработок; 11 – блоки, расположенные в зоне возможного размещения вскрывающих выработок (множество Т)

Итоговая суммарная экономическая оценка всех блоков ( $\Pi_{\Sigma T}$ ), формирующих площадки для размещения вскрывающих выработок трассы, определяется по формуле:

$$\Pi_{\Sigma T} = \sum_{i=1}^j \Pi_{c_j}^{min} \quad (8)$$

где  $j$  – количество площадок трассы в контуре карьера;  $\Pi_c^{min}$  – суммарная экономическая оценка блоков, участвующих в формировании съезда выбранного из всех вариантов на горизонте по критерию минимума экономической оценки.



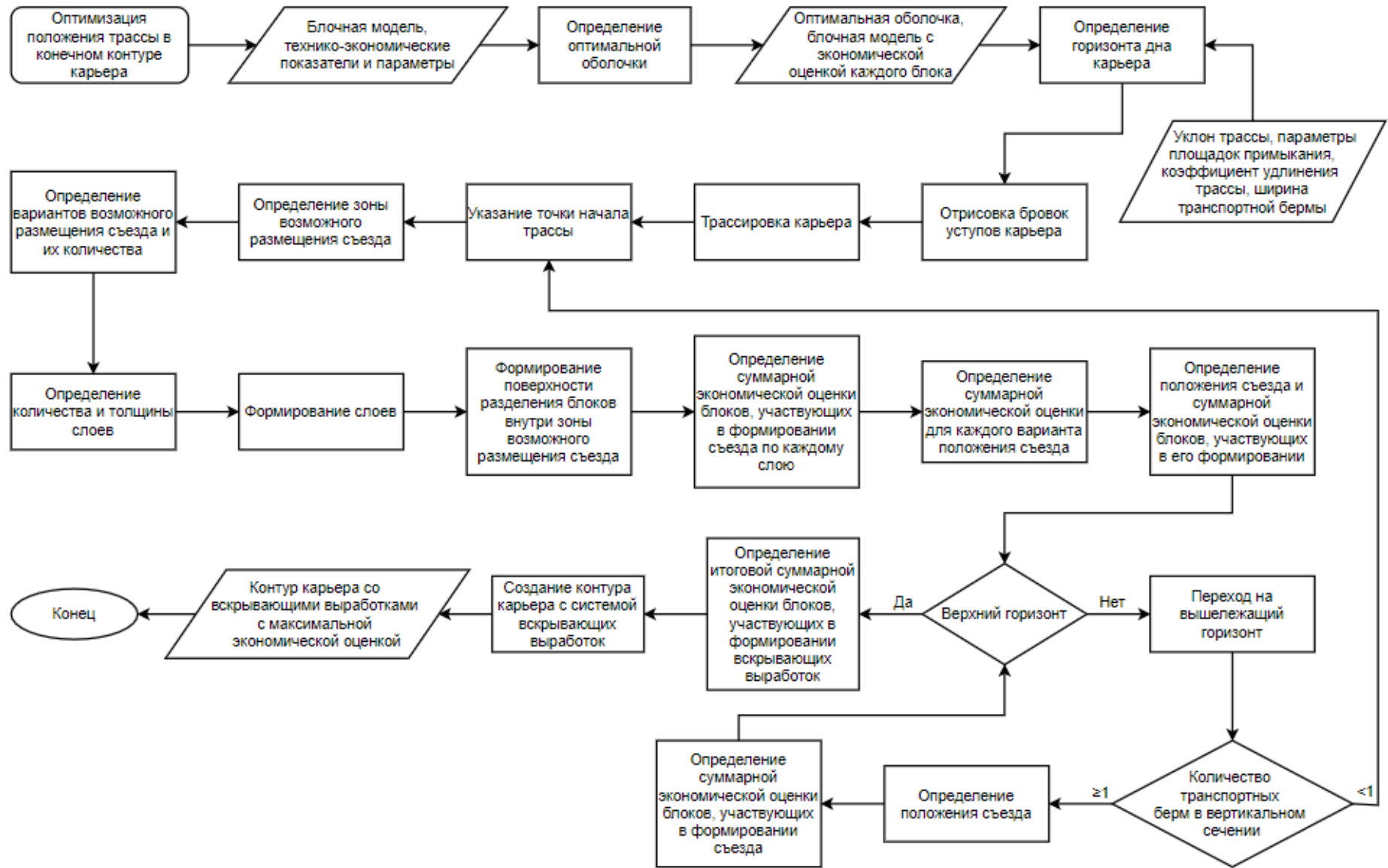


Рисунок 6 – Алгоритм оптимизации положения трассы вскрываемых выработок в виде блок-схемы

При расположении на борту карьера нескольких трасс вскрывающих выработок, как и при размещении на борту карьера сложных трасс, в вертикальном сечении борта карьера может располагаться несколько площадок для размещения транспортных коммуникаций. В подобной ситуации алгоритм определения зоны влияния расположения съезда меняется.

Все площадки могут формироваться только путем разноса контура карьера на величину, равную ширине транспортной бермы.

Суммарная экономическая оценка блоков, участвующих в формировании площадки для съезда, будет определяться по формуле:

$$\Pi_c^{min} = \sum_{i=1}^{t'} \Pi_{b_i}^T \quad (9)$$

где  $t'$  и  $\Pi_{b_i}^T$  – количество и экономическая оценка блоков, входящих в зону разноса борта для размещения съезда. Блоки этой зоны формируют множество  $N'$ .

$$N' \subset N \quad (10)$$

$$b_i \in N' \quad (11)$$

Однозначное расположение съезда на горизонте существенно упрощает процедуру определения блоков, входящих в зону размещения площадки для него.

Представленный выше алгоритм лег в основу методики обоснования конечных контуров глубоких карьеров. Согласно разработанной методике, построение конечного контура карьера осуществляется в следующей последовательности:

- на основе блочной модели месторождения создается оптимальная оболочка карьера;
- в соответствии с заданными положениями начала и выхода на поверхность трасс вскрывающих выработок определяется их оптимальное положение;

- отстраивается конечный контур карьера в соответствии с предложенными ранее рекомендациями постановки уступов в их конечное положение.

Результатом применения данной методики является конечный контур карьера со схемой вскрытия. Ее применение позволяет максимизировать валовую прибыль от разработки месторождения открытым способом.

Для апробации методики было выбрано месторождение алмазов им. В. Гриба АО «АГД Даймондс». Компанией были предоставлены модель месторождения, один из вариантов оптимальной оболочки карьера с расчетными параметрами и соответствующий ему проектный контур карьера.

Месторождение представлено трубообразной вертикальной залежью (трубкой) пород, содержащих алмазы. В плане трубка имеет ромбовидную форму. Длина трубки от её поверхности до нижней границы оценки прогнозных ресурсов составляет около 980 м. Площадь поверхности трубки составляет 163 540 м<sup>2</sup>, площадь поверхности жерла трубки – 106 429 м<sup>2</sup>, площадь горизонтального сечения по горизонту -900 м – 14 926 м<sup>2</sup>. Запасы месторождения утверждены протоколом ГКЗ в 2010 г. в объёме 98 млн. карат, в том числе 57 млн. карат для добычи открытым способом.

В результате применения разработанной методики был обоснован конечный контура карьера с системой вскрывающих выработок (рис. 7). Сопоставление показателей предлагаемого контура с проектным контуром карьера показало, что объем вскрышных пород в предлагаемом контуре меньше на 9,64%; сократился на полгода срок службы карьера и парк приобретаемого за весь срок службы оборудования: экскаваторов РС-3000 на 1 единицу, а БелАЗов-75131 на 6 единиц. Снижение продолжительности отработки и парка техники оказали положительное влияние на экономическую эффективность проекта. Чистый дисконтированный доход (NPV) предлагаемого контура оказался выше проектного на 7,39%.

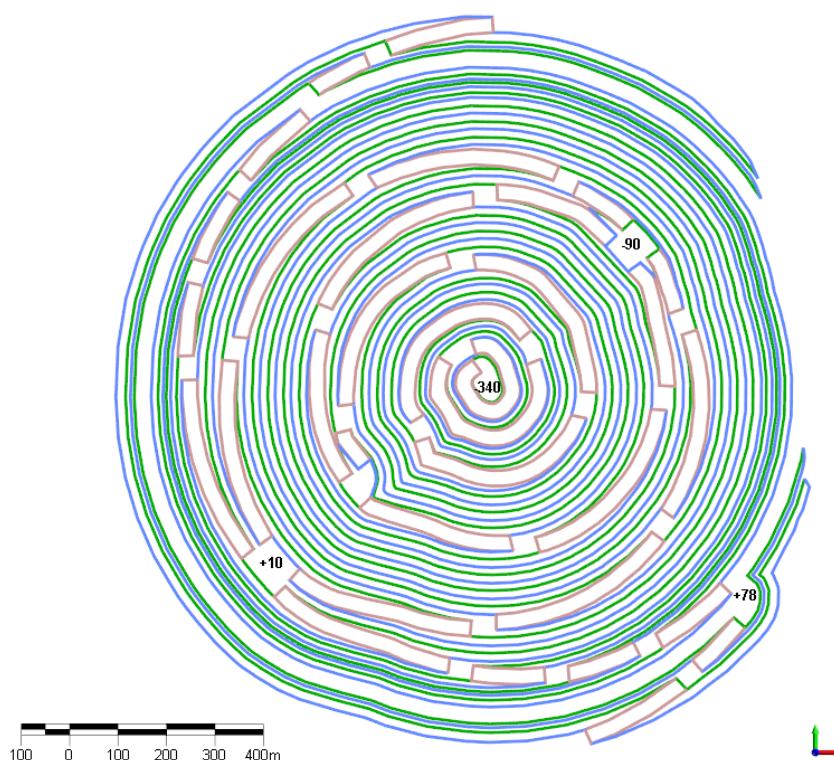


Рисунок 7 – Предлагаемый контур карьера, выполненный в ГГИС Micromine

Результаты апробации показывают целесообразность применения предложенной в работе методики при проектировании глубоких карьеров, разрабатывающих крутопадающие месторождения твердых полезных ископаемых.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Выполненная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой приводится решение актуальной научной задачи – обоснование конечных контуров глубоких карьеров с учетом схемы вскрытия, обеспечивающих повышение экономической эффективности разработки крутопадающих месторождений, имеющей существенное значение для развития теоретических основ проектирования карьеров.

Основные научные и практические результаты выполненной научной работы заключаются в следующем:

1. В результате анализа научной и технической литературы, а также проектной документации было установлено, что на сегодняшний день при разработке технических проектов на реконструкцию и разработку

месторождений открытым способом большинство проектных организаций использует горно-геологические информационные системы, в которых реализованы оптимизационные методы определения конечных контуров карьеров. Отсутствие методологического подхода к проектированию конечного контура карьера на основании результатов оптимизации приводит к снижению валовой прибыли от разработки месторождения более чем на 10%.

2. Созданы математические модели карьеров круглой, эллиптической и прямоугольной формы, учитывающие размеры дна карьера, количество и высоту уступов, углы откосов уступов, уклоны съездов, размеры транспортных берм и горизонтальных площадок примыкания на каждом горизонте. Данные модели позволили исследовать влияние схемы вскрытия и параметров вскрывающих траншей на конструкцию нерабочих бортов карьера и объем горной массы в конечном контуре карьера.

3. Установлено, что для карьеров с круглой, прямоугольной и эллиптической формами дна изменение объемов горной массы, связанное с расположением трассы вскрывающих выработок на борту карьера, имеет нелинейный характер, а относительная величина отклонения в некоторых случаях может превышать 40%. Доказано, что наибольшее влияние на изменение величины отклонения оказывают размер дна карьера и углы откосов уступов. Полученные зависимости свидетельствуют об изменчивости величины влияния положения трассы на объем горной массы в контуре карьера при различных глубинах. А наличие точек экстремума (максимума) на всех графиках зависимостей позволяет сделать вывод о возможности выделения диапазона глубин, при котором это влияние наиболее существенное.

4. Установлено влияние технико-экономических характеристик блоков блочной модели и их размеров на положение уступов при проектировании конечных контуров карьера на основе оптимальной оболочки. В зависимости от способа постановки уступов в их конечное положение снижение валовой

прибыли от разработки месторождения по сравнению с результатами оптимизации может достигать 6-7%.

5. Разработан алгоритм оптимизации положения трассы вскрывающих траншей при проектировании конечного контура карьера на основании оптимальной оболочки. Данный алгоритм позволяет максимизировать валовую прибыль от разработки месторождения открытым способом.

6. Разработана методика обоснования конечных контуров глубоких карьеров, учитывающая схему вскрытия и позволяющая запроектировать конечный контур карьера, обеспечивающая высокие технико-экономические показатели работы горных предприятий.

7. Практическое значение работы заключается в разработке:

- рекомендаций по определению положения уступов при проектировании конечного контура карьера на основании оптимальной оболочки для месторождений с различным распределением в плане и по глубине экономических оценок блоков;

- рекомендаций по проектированию конечного контура карьера и схемы вскрытия карьера ГОКа им В. Гриба АО «АГД Даймондс». В конечном контуре карьера, построенном в соответствии с предложенной методикой и рекомендациями, объем вскрышных пород меньше на 9,64%, а чистый дисконтированный доход больше на 7,39%, чем в предоставленном компанией варианте проектного контура карьера.

7. Разработанная методика обоснования конечных контуров глубоких карьеров и рекомендации приняты к использованию для решения задач перспективного планирования при отработке карьера ГОКа им В. Гриба АО «АГД Даймондс».

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

1. Федотов Г.С. Влияние положения трассы вскрывающих выработок на объем горной массы в конечном контуре карьера. / Федотов Г.С., Пастихин Д.В.

// Горный информационно-аналитический бюллетень – 2019. – №6 (специальный выпуск 1). – С. 115-123.

2. Федотов Г.С., Пастихин Д.В. Методика оптимизации положения вскрывающих выработок при проектировании конечных контуров карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3 (специальный выпуск 8). – С. 3–13.

3. Федотов Г.С. Экономические аспекты отрисовки линий бровок уступов при проектировании карьеров в ГГИС // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3 (специальный выпуск 8). – С. 14–20.

4. Федотов Г.С., Пастихин Д.В. Оптимизация конечного контура карьера ГОКа им. В. Гриба с учетом схемы вскрытия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 4 (специальный выпуск 11). – С. 3–12.