

# Современные методические подходы к определению границ открытых горных работ

Задача оценки рациональных границ открытых горных работ является одной из наиболее актуальных в горной практике. Многие горные предприятия ведут открытую разработку по устаревшим проектным решениям, потерявшим живую связь с современным уровнем техники и технологии горных работ, а также основанных на устаревших экономических оценках.

В настоящее время ряд горных производств стоит перед проблемой истощения запасов, предназначенных для открытой добычи. Проблема истощения запасов до принятия решения о прекращении добычи может быть решена:

- переходом на подземную добычу;
- включением в открытую отработку новых участков;
- включением в отработку техногенных месторождений (хвостохранилища, отвалы и т.д.);
- разном бортов и дальнейшей углубкой карьеров до отметки, позволяющей вести горные работы с приемлемым уровнем рентабельности.

Переход к подземной добыче сопряжен с необходимостью значительных капитальных затрат на строительство шахты, созданием необходимой инфраструктуры и закупкой оборудования, что фактически является отдельным проектом горных работ. Однако сложные горно-геологические условия месторождения часто ограничивают возможность применения высокопроизводительных механизированных систем разработки и предопределяют большие операционные затраты при низкой производительности.

Следует отметить, что разделение запасов, предназначенных для открытой или для

**ТВЕРДОВ Андрей Александрович**

*Горный инженер ИМС Montan,  
канд. техн. наук*

**ЖУРА Алексей Викторович**

*Консультант по экономике  
и маркетингу ИМС Montan,  
канд. экон. наук*

**НИКИШИЧЕВ Сергей Борисович**

*Директор по развитию ИМС Montan,  
канд. экон. наук*

подземной добычи, в ряде случаев производилось еще в советский период времени. С учетом изменения экономических показателей, развития технологии и стоимости товарной продукции данные оценки устарели и должны быть пересмотрены.

Практика показывает, что в отдельных случаях запасы для открытых горных работ могут быть увеличены в 2-3 раза. Так, технико-экономическая оценка, проведенная горно-консалтинговой компанией ИМС Montan для одного из угольных разрезов Сибири, позволила осуществить прирост запасов более чем на 200 %, при углубке карьера более чем на 250 м.

Согласно сложившейся практике, одним из основных критериев для установления границ открытых горных работ является граничный коэффициент вскрыши. Вопросам определения границ карьеров и рациональной величины граничного коэффициента вскрыши в разное время были посвящены работы многих известных ученых в области открытых горных работ, включая: В. В. Ржевского, Н. В. Мельникова, Ю. И. Анистратова,

А. И. Арсентьева, К. Е. Винницкого, К. Н. Трубецкого, П. И. Городецкого, П. Э. Зуркова., Б. П. Юматова, В. Л. Яковлева, В. С. Коваленко, Б. П. Боголюбова, М. Г. Саканцева и др.

Имеющиеся аналитические методы определения граничного коэффициента вскрыши отличаются простотой и могут быть разделены на два основных подхода:

1. Сопоставление себестоимости открытых горных работ и подземных горных работ;
2. Оценка по условию погашения себестоимости вскрышных и добычных работ выручкой от реализации товарной продукции (или в некоторых случаях по замыкающим затратам).

Имеется множество вариантов формул для определения граничного коэффициента вскрыши  $K_{вскр}$  согласно первому подходу. В общем виде подход может быть описан следующей наиболее простой формулой:

$$K_{вскр} = \frac{C_{п} - C_{о}}{C_{в}}, \text{ м}^3 / \text{м}, \quad (1)$$

где:  $C_{п}$  — себестоимость добычи подземным способом, руб/т;  $C_{о}$  — себестоимость добычи открытым способом, руб/т;  $C_{в}$  — себестоимость вскрышных работ, руб/м<sup>3</sup>.

Себестоимость подземных горных работ достаточно сложно прогнозировать на этапе предпроектных оценок, при этом погрешность прогнозирования показателей себестоимости всегда будет выше для подземных горных работ, чем для открытых горных работ. Следует также отметить, что с учетом ряда параметров, не подлежащих прямой экономической оценке, таких как: капитальные затраты, уровень травматизма, риски аварий и т.д., открытая добыча практически всегда более предпочтительна, даже в случае более низкой себестоимости на подземных горных работах. Игнорирование этих обстоятельств необъективно снижает границы открытых горных работ.

Второй подход, основанный на условии погашения себестоимости вскрышных и добычных работ выручкой от реализации товарной продукции также не лишен ряда существенных недостатков. В общем виде подход может быть описан следующей формулой:

$$K_{вскр} = \frac{C_{р} - C_{о}}{C_{в}}, \text{ м}^3 / \text{м}, \quad (2)$$

где:  $C_{р}$  — цена руды, руб/т.

Как и в первом случае, оценка основана на минимальном количестве переменных и факторов, подлежащих учету. Практически не учитываются следующие значимые технико-экономические показатели: капитальные затраты; срок освоения проектной мощности и период окупаемости; произво-



Специалисты компании «ИМС Montan»  
С. Б. Никишичев, А. А. Твердов, А. В. Жура  
(слева направо)

[www.imcmontan.ru](http://www.imcmontan.ru)

дительность предприятия; налоговые отчисления; срок эксплуатации предприятия; необходимый уровень рентабельности для экономической привлекательности проекта освоения месторождения.

Вышеприведенные факторы в современных экономических условиях зачастую являются определяющими для экономики проекта, и недостаточность их учета серьезным образом сказывается на точности проектных решений. К тому же показатели себестоимости добычи и вскрыши являются динамичными и напрямую зависят от производительности карьера и глубины отработки. Принятие среднепрогнозных показателей себестоимости добычи и вскрыши при оценке рациональных границ открытых горных работ может привести к существенной погрешности.

Условие погашения себестоимости вскрышных и добычных работ выручкой от реализации товарной продукции не является объективным критерием установления границ горных работ в условиях рыночной экономики. Необходимо также учитывать рентабельность, приемлемую для инвестора, идущего на риски при инвестировании в капиталоемкие горные проекты.

Отчасти компенсировать недостатки существующих аналитических подходов к оценке граничного коэффициента вскрыши можно за счет введения дополнительных переменных в уравнение для его расчета. В частности, авторами статьи в практической деятельности используется следующая формула приближенного определения экономически приемлемой величины коэффициента вскрыши:

$$K_{вскр} = \frac{q \cdot Ц \cdot (1 - \frac{0,01 \cdot R}{(1 - 0,01 \cdot H)}) - C_{сп}}{C_B}, \text{ м}^3 / \text{т}, \quad (3)$$

где:  $C_{сп}$  — средняя себестоимость товарной продукции (добычи, транспортирования до ОФ и обогащения, включая амортизацию), руб/т;  $R$  — приемлемая для инвестора норма прибыли, %;  $H$  — налог на прибыль, % (для РФ — 24%);  $Ц$  — ценность продукта (отпускная цена), руб/т;  $q$  — доля товарной продукции от добываемого сырья (с учетом выхода концентрата), д. ед.

При значительной реконструкции карьеров или строительстве новых величина граничного коэффициента вскрыши  $K_{вскр}$  подлежит корректировке с учетом инвестиционной составляющей, которая может быть введена в качестве дополнительных удельных затрат на 1 т добычи.

Несмотря на то, что расширение числа переменных, подлежащих оценке при расчете граничного коэффициента вскрыши, повышает его объективность, в целом этот путь не решает всех проблем и может быть применен только на стадиях составления ТЭП, ТЭО временных кондиций и других предпроектных оценках. Для детального проектирования данные подходы следует признать устаревшими и недопустимыми.

Международная практика показывает, что наиболее объективная оценка экономической эффективности горного проекта основана на доходном методе. При этом главным показателем эффективности проекта является чистый дисконтированный доход — ЧДД. Данный подход позволяет учитывать производительность горного предприятия, срок выхода на проектную мощность, срок эксплуатации предприятия, капитальные затраты и при необходимости динамичность показателей себестоимости. Поэтому определение границ открытых горных работ с учетом чистого дисконтированного дохода следует признать наиболее обоснованным подходом.

Следует подчеркнуть, что границы отработки и предельные контуры карьера зависят также от соответствующих технологических решений по освоению участка недр. Также как и выбор рациональной мощности карьера это влияет на показатели себестоимости добычных и вскрышных работ. Поэтому поиск оптимальных границ карьера является итерационной задачей.

Одним из современных развитых аналитических методов определения граничного коэффициента вскрыши является подход, предложенный доктором техн. наук М. Г. Саканцевым, основанный на использовании так называемых «дисконтированных граничных коэффициентов вскрыши». Согласно предложенному методу технологические, экономические и геологические факторы разработки карьера связываются рядом зависимостей, некоторые из которых носят эмпирический характер. При этом учитывается разноразмерность некоторых составляющих капитальных и операционных затрат. Впоследствии эти зависимости, как составляющие, входят в формулу расчета граничного коэффициента вскрыши.

Указанный метод повышает эффективность проводимой оценки граничного коэффициента вскрыши, однако он не решает задачи определения рациональных параметров карьера, особенно при трехмерном моделировании полезного ископаемого, рельефа и контуров карьера и также не позволяет осуществить прямую взаимосвязь денежных потоков с технологией отработки.

Современные информационные технологии, основанные на стандартных программах горно-геологического моделирования, позволяют увязать технологические решения и геологические условия с моделированием в полуавтоматическом режиме расчета денежных потоков. Это значительно упрощает детальную экономическую оценку проекта строительства горного предприятия и поиск оптимальных технологических решений.

Процесс определения оптимальных границ карьера с использованием современных компьютерных методов можно разделить на следующие основные стадии:

- построение каркасной модели месторождения;

- построение блочной модели месторождения;
- оптимизация карьера на основании алгоритма Лерча-Гроссмманна, с поиском оптимальных границ в первом приближении;
- дальнейшая оптимизация в программах, моделирующих NPV проекта, на основании предварительно определенных сроков освоения производственной мощности, производительности карьера, капитальных затрат;
- «сглаживание» календарного графика по вскрышным работам, с учетом соблюдения рационального режима горных работ;
- повторное моделирование границ отработки карьера на основе уточненного календарного графика освоения производственной мощности и капитальных затрат.

Первая и вторая стадии стандартны для современной практики проектирования карьеров и используются для более достоверной оценки ресурсной базы месторождения. На данных этапах важным условием является использование объективных кондиций, которые до начала проектных работ могут носить приближенный характер и не соответствовать текущим экономическим условиям. Это может потребовать дополнительной итерации после четвертой (или даже шестой) стадии, когда экономическая оценка будет приближена к максимально достижимой точности.

Оптимизация карьера на основе алгоритма Лерча-Гроссмманна в целом аналогична оценке граничного коэффициента вскрыши по замыкающим затратам, однако позволяет в автоматическом режиме с большей точностью установить границы карьера, отвечающие выбранным ограничивающим параметрам: себестоимость вскрыши и добычи, стоимость товарной продукции, предельные по устойчивости углы наклона бортов и уступов карьера и др.

На четвертой стадии вводятся дополнительные ограничивающие параметры, включая: производительность карьера, капитальные затраты, сроки выхода на проектную мощность, рациональную ставку дисконтирования (учитывающую риски проекта) и другие значимые показатели. Учитывая, что стадии детального проектирования предшествуют предпроектные оценки в виде ТЭПа, ТЭО кондиций, то многие показатели, участвующие в моделировании, уже установлены со степенью точности, достаточной для первой итерации. Ряд показателей, таких как ставка дисконтирования, производительность и срок освоения производственной мощности устанавливаются экспертным путем, на основании опыта проектировщика.

Стоимость товарной продукции устанавливается на основе маркетингового анализа. Нередко проектные институты используют текущие цены на товарную продукцию для долгосрочных расчетов, не подвергая ее

критическому анализу. Цены на продукцию целесообразно определять с консервативных позиций с анализом текущих рыночных цен, ретроспективных данных и возможных изменений конъюнктуры рынка.

На основании введенных ограничений может быть выполнена дальнейшая оптимизация границ карьера в программах, учитывающих при моделировании ЧДД проекта, таких как Whittle, NPV Scheduler и др.

Следует отметить, что стандартные модули оптимизации режима отработки и границ карьера с учетом ЧДД, хотя и позволяют в значительной степени упростить поиск оптимальных решений, однако не являются полностью автоматическими. Зачастую процесс горного моделирования не приносит желаемого результата по причине недостаточного опыта исполнителя. В некоторых случаях работа выполняется специалистом, не имеющим специального горного образования, не говоря уже о реальном опыте работы на горном предприятии, но получившим навыки работы в недостаточно распространенных в России специализированных программных продуктах. Так например, оптимизатор напрямую не учитывает рационального и достижимого режима горных работ, и главным критерием оптимизации является максимальный ЧДД. График работ в результате может быть представлен скачкообразными показателями по годам отработки. При этом амплитуда колебаний может быть самой разной и зависеть от горно-геологических условий рассматриваемого участка недр. Для получения качественных результатов моделирования требуется, чтобы оператором, работающим с программой, был опытный горный инженер — проектировщик или даже группа профильных специалистов.

После первой итерации обычно требуется полуавтоматическая корректировка смоделированного режима горных работ, производимая с учетом рационального наращивания объема горных работ по горной массе, движения оборудования и возможности его расстановки. Это снижает ЧДД проекта и приводит к уменьшению границ отработки карьера. Количество итераций для данного этапа не ограничено и целиком зависит от требуемой точности проектных решений.

Предлагаемый алгоритм на первый взгляд достаточно сложен, но для определения проектных границ карьера его преимущества очевидны:

- работа выполняется в органической связи с экономическими и технологическими решениями;
- точность выполняемых оценок несопоставима с «ручными» стандартными методами, зачастую полностью основывающимися на опыте исполнителя;
- снижается трудоемкость работ ввиду автоматизации большинства наиболее сложных процессов (пересчет запасов, экономических показателей и т.д.);
- результат оптимизации может быть подвергнут критической оценке и корректировке в достаточно короткие сроки с минимальными трудозатратами.

Последнее обстоятельство наиболее значимо для динамично развивающегося рынка, характеризующегося непостоянством цен на товарную продукцию, изменением себестоимости отдельных процессов, а также для постоянного обновления данных по запасам.

В таблице приведены некоторые параметры различных методов определения предельного коэффициента вскрыши. Оценка приведена для одинаковых геологических условий.

Как видно, граничный коэффициент вскрыши, определенный с учетом оптимизации по ЧДД, ниже определенного по условию погашения себестоимости вскрышных и добычных работ выручкой от реализации товарной продукции, но выше, чем при методе простого сопоставления с подземными горными работами. Также изменяется динамика прироста запасов по сравнению с граничным коэффициентом вскрыши.

### Сравнение методов оценки граничного коэффициента вскрыши

Метод	Граничный коэффициент вскрыши, %	Объем извлекаемых (эксплуатационных) запасов, %	Комментарий
Сопоставление себестоимости открытых и подземных горных работ	100 %	100 %	Не учитываются капитальные затраты, производительность, сроки освоения проектной мощности и т.д.
По условию погашения себестоимости вскрышных и добычных работ выручкой от реализации товарной продукции (формула (3))	155 %	145 %	Дополнительно учтены налоговые платежи и рентабельность
На основе горно-геологического моделирования с оптимизацией по ЧДД	120 %	130 %	Максимально-полный учет всех технико-экономических факторов

Снижение коэффициента по сравнению с методом расчета по замыкающим затратам обусловлено капитальными затратами, приходящимися на первый период строительства карьера, имеющими наибольший удельный вес для экономики проекта.

В свою очередь большая величина граничного коэффициента вскрыши по сравнению с методом сопоставления себестоимости подземных и открытых горных работ связана с учетом дополнительных технико-экономических факторов.

Последние потрясения сырьевого рынка, обусловленные мировым финансовым кризисом, заставили ряд горных предприятий начать пересмотр проектных решений как для уже обрабатываемых карьеров, так и для находящихся на стадии строительства. Пересмотр проекта горных работ может касаться изменения границ отработки и производственной мощности карьера. В этом случае, наличие цифровой геологической модели с оптимизацией по фактору ЧДД позволяет значительно сократить сроки и стоимость работ по корректировке проекта освоения месторождения. Хорошей практикой следует признать проработку нескольких вариантов развития горных работ исходя из различных прогнозов спроса и цен на сырье, что позволит в оперативные сроки скорректировать проектные решения.

**IMC Montan**

Консультационные услуги для  
горнодобывающей и перерабатывающей  
промышленности

Горно-геологический аудит  
Отчет компетентного лица (CPR/MER), оценка  
запасов, Due Diligence

Технический консалтинг  
технико-экономические обоснования (Feasibility  
Studies), развитие горных компаний, оптимизация  
горных работ.

[www.imcmontan.ru](http://www.imcmontan.ru)

Мы будем рады рассмотреть ваши предложения в  
нашем Московском офисе:  
125047, Москва, ул. Чайнова, д.22, стр.4,  
Тел. +7(495)250-67-17, факс: +7(495)251-59-62  
E-mail: [consulting@imcgroup.ru](mailto:consulting@imcgroup.ru)

IMC DMT WVG International