



А.А. Твердов
канд. техн. наук
IMC Montan
технический директор
эксперт ГКЗ
andrey.tverdov@imcgroup.ru



Д.П. Тибилов
д-р экон. наук
профессор
МИСиС
заведующий кафедрой
«Экономика горного производства»
эксперт ГКЗ
tdp@inbox.ru

Современные подходы к определению экономически и технологически обоснованных границ открытых горных работ при подготовке ТЭО постоянных разведочных кондиций

Вопросы определения рациональных границ открытых горных работ являются ключевыми для обеспечения экономически эффективного и рационального недропользования. В статье рассмотрены проблемные вопросы и даны рекомендации по решению этой задачи в рамках подготовки ТЭО постоянных разведочных кондиций

Definition of rational open-pit mining boundaries is a key issue for ensuring cost-effective and rational mining. The article reviews problematic issues and makes recommendations as to achievement of the above task in preparation of TEO of final exploration parameters

Ключевые слова: ТЭО; экономическая оценка; коэффициент вскрыши; горно-геометрический анализ
Keywords: techno-economic justification; economic valuation; stripping ratio; mining and geometry analysis

Задача определения рациональных границ ведения открытых горных работ является одной из наиболее актуальных в горной практике. Она возникает на самой ранней стадии технико-экономической оценки освоения участка недр, являясь неотъемлемой составляющей проектной документации, подготавливаемой как по российским стандартам, так и в международном формате (*Scoping study, Pre-feasibility study, Feasibility study* и т.д.).

Важной особенностью российской правовой системы регулирования недропользования является процедура постановки запасов ПИ на государственный баланс, проводимая по итогам экспертизы материалов ТЭО разведочных кондиций в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) [1]. Среди ключевых вопросов ТЭО постоянных разведочных кондиций можно выделить:

- обоснование рациональных параметров кондиций для подсчета запасов ПИ;
- определение оптимальных способов добычи и оценка коэффициента извлечения ПИ из недр;
- установление рациональных границ подсчета запасов ПИ.

Очевидно, что экономическая эффективность, соответственно, и полнота извлечения запасов из недр (параметры кондиций для подсчета запасов, границы отработки, общерудничные и эксплуатационные потери) напрямую зависят от способа добычи. Таким образом, по итогам защиты в ГКЗ запасы утверждаются под конкретный способ добычи, в конкретных границах, что предопределяет важность определения рациональной границы между подземными (ПГР) и открытыми (ОГР) горными работами.

Задача определения рациональных границ открытых горных работ актуальна как для новых участков недр/месторождений, так и для действующих объектов. Зачастую изменение экономических показателей, уточнение горно-геологических условий, развитие техники и технологии горных работ, а также динамика сырьевых рынков приводят к самым радикальным корректировкам границ отработки участка недр. Практика показывает, что в отдельных случаях уточненные запасы для открытых горных работ могут изменяться в разы от ранее обоснованных [2].

Возможны следующие основные варианты определения рациональных способов отработки месторождения:

- возможна **только подземная** отработка:
 - глубокое залегание рудных тел/пластов полезного ископаемого, как следствие – очень высокий коэффициент вскрыши и большой объем ГРП в случае открытой разработки месторождения;
 - наличие инфраструктурных ограничений (застройка участка недр, требующая серьезных инвестиций для переноса или принципиально невозможная для переноса);
 - экологические ограничения – расположение на участке недр особо важных водотоков местности, природных памятников и т.д.;
- целесообразна **только открытая** отработка месторождения:
 - отработка подземным способом нерентабельна;
 - отработка подземным способом технологически неэффективна (сложное геологическое строение, большие водопритоки и т.д.);
- возможна **комбинированная** отработка участка недр (последовательная или параллельная).

Очевидно, в случае, когда возможна только подземная отработка, определение границ ведения открытых горных работ не проводится. Однако логика принятия такого решения (не определять границы ведения ОГР) в ТЭО должна быть в явном виде прописана.

В случае, если целесообразна только открытая разработка, обоснование нижней границы ОГР производится на основе равенства между граничным (предельным) и контурным коэффициентом вскрыши. Граничный коэффициент вскрыши определяется по условию погашения выручкой от реализации товарной продукции затрат на добычу открытым способом. Кроме того, при определении оптимальной границы ведения открытых горных работ часто проводится горно-геометрический анализ, по результатам которого делаются

сопоставление контурного и граничного коэффициента вскрыши.

По сути, обоснование границ открытой отработки – итерационная задача и может подлежать корректировке на всех стадиях подготовки ТЭО. Для минимизации расхождений в первой итерации следует рекомендовать принимать экономические показатели для расчета граничного коэффициента вскрыши на основе предварительного расчета операционных затрат или ориентироваться на фактические показатели работы карьера. В общем случае допустимо незначительное отклонение экономических показателей, принятых для оценки граничного коэффициента вскрыши и построения модели денежных потоков.

Таким образом, с учетом погрешности исходных, принятие границ ОГР на основе сопоставления контурного и граничного коэффициентов вскрыши может «искусственно» сокращать перспективные границы карьера. При горно-геометрическом анализе следует всеобъемлюще оценить изменение угленосности/рудности с глубиной отработки. Возможны случаи, когда на некоторых горизонтах граничный коэффициент вскрыши превышает контурный, далее ситуация изменяется. Также возможны условия незначительного превышения контурным коэффициентом вскрыши граничного при существенном расширении границ отработки. В этом случае, при определении границ открытых горных работ следует соотносить прирост запасов с изменением среднего коэффициента вскрыши по участку недр в результате расширения границ отработки. В случае не превышения средним коэффициентом вскрыши значений граничного коэффициента вскрыши и подтверждения экономическими расчетами модели денежных потоков рентабельности отработки участка недр границы открытых горных работ могут быть приняты для обоснования условий.

В случае наличия технической возможности отработки запасов как открытым, так и подземным способами, определение рациональных границ ведения открытых работ до сих пор рекомендуется осуществлять по выполнению условия равенства себестоимостей добычи открытым и подземным способами. Однако данный подход характеризуется сильно укрупненной оценкой эффективности открытого и подземного способов отработки запасов.

Переход к подземной добыче сопряжен с необходимостью значительных капитальных затрат на строительство шахты, создание необходимой инфраструктуры и закупку обо-

рудования. При этом сложные горно-геологические условия месторождения часто ограничивают возможность применения на ПГР высокопроизводительных механизированных систем разработки и предопределяют большие операционные затраты при низкой производительности. Также при анализе перспектив открытых горных работ следует учитывать следующие преимущества данного способа добычи, не всегда поддающиеся прямому экономическому учету:

- в целом более короткие сроки строительства карьера;
- как правило, существенно меньшие капитальные вложения, и как следствие, меньшие сроки окупаемости;
- большая ликвидность основного оборудования;
- лучшие условия предоставления заемных средств;
- потери при ПГР, как правило, выше, чем при ОГР;
- травматизм на ОГР существенно ниже, чем на ПГР;
- менее значимое влияние рисков, обусловленных высокой газообильностью пород, склонностью угля к самовозгоранию, удароопасностью пород;
- в целом погрешность прогнозирования технических и технологических показателей ОГР существенно ниже, чем для ПГР;
- как правило, более высокая максимальная производительность карьера по сравнению с шахтой;
- как правило, более простые требования к инфраструктуре.

Эти факторы зачастую являются определяющими для экономики и успешности проекта, и недостаточность их учета серьезным образом сказывается на точности проектных решений. Таким образом, условие погашения себестоимости вскрышных и добычных работ выручкой от реализации товарной продукции представляется более объективным критерием установления границ горных работ, чем сопоставление затрат на ПГР и ОГР.

Традиционные недостатки расчета граничного коэффициента в материалах ТЭО постоянных разведочных кондиций следующие:

- не учитывается динамика изменения операционных затрат на транспорт полезного ископаемого и вскрышу с углубкой карьера (допустимо для неглубоких карьеров);
- не учитывается изменение операционных затрат для различных производственных мощностей карьера, в свою очередь зависящих от границ отработки (допустимо при

очень высокой обеспеченности запасами участка недр для всех рассматриваемых вариантов границ отработки);

- некорректно учтен выход товарной продукции (соответственно, выручка);
- эксплуатационные затраты на вскрышу, добычу и переработку приводятся без обоснования и ссылок на другие разделы ТЭО кондиций;
- существенно различаются показатели затрат на вскрышу и добычу, а также выхода товарной продукции и себестоимости переработки, принятые для оценки граничного коэффициента вскрыши и в экономическом разделе для построения модели денежных потоков (иногда на 50% и более).

Между расчетом граничного коэффициента вскрыши и детальной экономической оценкой разработки месторождения зачастую, даже в рамках подготовки ТЭО кондиций, лежит большой отрезок времени, что может приводить к несоответствию экономических показателей. Более того, невозможность учета в граничном коэффициенте всех экономических составляющих (капитальных затрат, затрат на обновление и т.д., когда возможен только укрупненный учет, например в виде удельных дополнительных затрат), говорит о существенных допущениях данного показателя.

Необходимо отметить, что при определении границ открытой разработки следует учитывать, что как экономические показатели, лежащие в основе расчета граничного коэффициента вскрыши, так и этап построения горно-геометрического анализа характеризуются погрешностями и неопределенностями. Ключевые факторы погрешностей:

- сложность точной оценки уровня цен на сырьевых рынках;
- погрешности геологических данных (угленасыщенность/рудонасыщенность, качество полезного ископаемого и т.д.);
- погрешности проектирования горных работ и технологии переработки полезного ископаемого;
- допущения и неточности при оценке операционных и капитальных затрат проекта.

Помимо экономических показателей ведения открытых горных работ, при оценке границ карьера следует также принимать во внимание следующие факторы:

- ограничения развития горных работ, обусловленные расположением смежных участков недр, населенных пунктов, инфраструктурных и природных объектов;
- взаимовлиянием ОГР и ПГР (необходимость оставления целиков и синхронизации отработки);

– в некоторых случаях – дефицит отвальных емкостей.

Достаточно частый фактор, ограничивающий границы ОГР – дефицит площадей для складирования вскрышных пород, расположенных на приемлемом плече откатки. Постепенный переход на внутреннее отвалообразование, а также максимальная конвейеризация процесса транспортирования вскрышных пород (сокращение затрат на транспорт вскрыши) зачастую позволяют расширить границы горных работ, что, безусловно, должно быть оценено на этапе подготовки ТЭО кондиций.

Еще один из ключевых факторов обоснованной оценки оптимальных границ ОГР – корректная оценка углов наклона бортов карьера в конечном контуре. Частыми ошибками при построении границ ОГР являются:

– отсутствие исследований по устойчивости карьерных откосов;

– коэффициенты запаса устойчивости и расчетные схемы, принятые для оценки параметров карьерных откосов, не соответствуют действующим нормативам и горно-геологическим условиям участка недр;

– недостаточно изучены физико-механические свойства горных пород, лежащие в основе оценки устойчивости карьерных откосов;

– материалы оценки устойчивости карьерных откосов противоречат принятым границам отработки или приводятся для другого участка недр;

– параметры бортов карьера, принятые для горно-геометрического анализа, едины для всех глубин отработки, не учитывая изменения напряженно-деформированного состояния прибортового массива;

– параметры бортов карьера приняты равными максимально допустимым по устойчивости, но противоречат технологически достижимым (с учетом транспортных берм, берм безопасности и т.д.).

Значимость корректного учета параметров бортов карьера нельзя недооценивать.

Так, на глубоких карьерах изменение угла наклона борта только на 1° может привести к изменению объема вскрыши на 5–10 млн м^3 на 1 км периметра карьера и даже более.

Отдельным достаточно дискуссионным вопросом является возможность использования компьютерных программ трехмерного моделирования, в т.ч. на основе алгоритма Лерча-Гросманна. Безусловно, использование данных программ позволяет повысить качество оценки оптимальных границ ОГР, но необходимо дать ряд комментариев к их применимости:

– корректность оптимизационных мероприятий по поиску оптимальных границ в трехмерных программах, как и в случае с расчетом граничного коэффициента вскрыши, полностью зависит от корректности исходных экономических и технологических данных используемых для оптимизации;

– границы отработки не учитывают изменения устойчивых параметров карьерных откосов с углубкой карьера;

– технологические параметры, определяющие конструктивные параметры карьерных откосов, учитываются достаточно упрощенно.

На неглубоких карьерах относительно простого строения отличия в границах отработки, определенных по результатам оптимизации в трехмерных программных продуктах, в целом не существенно отличаются от оценок, более детально учитывающих устойчивые параметры карьерных откосов, горно-транспортную схему и т.д. Для крупных карьеров данные разночтения могут быть очень существенными. Таким образом, использование данных программ также требует итерационного подхода, являясь этапом определения оптимальных границ ОГР.

Во всех случаях, границы отработки запасов подтверждаются моделью дисконтированных денежных потоков (DCF) [3], наиболее полно отражающей экономическую эффективность отработки участка недр. ■

Литература

1. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых. Угли и горючие сланцы. Утв. распоряжением Министерства природных ресурсов РФ от 05.06.2007. № 37-р.
2. Твердов А.А., Жура А.В., Никишичев С.Б. Современные методические подходы к определению границ открытых горных работ // Уголь. 2009. № 2. С. 21–23.
3. Тибиллов Д.П., Франкевич Ж.А. Особенности экономического планирования при составлении технико-экономического обоснования освоения угольных месторождений // ГИАБ. 2015. № 3. С. 295–302.
4. Лозовская Я.Н., Царевская Е.И. Разработка методики формирования системы управления предприятием, обеспечивающей повышение эффективности его деятельности // ГИАБ. 2012. № 12. С. 261–266.
5. Франкевич Ж.А. Анализ положения угольных компаний в угольной отрасли России // ГИАБ. 2007. № 4. С. 163–165.