ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2023;(5):142-154
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.271 DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_142

ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ВОЛАТИЛЬНОСТИ РЫНКА УГЛЯ

В.В. Таланин[1], В.Г. Бехер[1], В.А. Казаков[1]

[1] Горный Институт, НИТУ «МИСиС», Москва, Россия,
e-mail: kazakov.va@misis.ru

Аннотация: Экономическая эффективность разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом тесно связана и зависит от горно-геологических условий, главных параметров карьера, периода его отработки, технологии, механизации и организации работ, а также выбранного режима горных работ. Как известно, режим горных работ – это установленная проектом последовательность выполнения объемов вскрышных и добычных работ во времени, обеспечивающая планомерную, безопасную и экономически эффективную разработку месторождения. Эксплуатация угольного месторождения определяется прежде всего экономическими факторами, которые удовлетворяют внешним макроэкономическим условиям. Основным экономическим фактором эксплуатации месторождений является допустимая себестоимость добычи полезного ископаемого, которая складывается из эксплуатационных затрат на добычные и вскрышные работы. При известной производственной мощности карьера по полезному ископаемому затраты на вскрышные работы зависят во многом от их объема и условий отработки, управляя которыми, можно в определенных пределах изменять уровень себестоимости добычи полезного ископаемого, обеспечивая рентабельность горнодобывающего предприятия в условиях волатильности цен. Рассмотрены особенности регулирования режима открытых горных работ в условиях колебания цен на рынке угля. Дана оценка возможности управления уровнем себестоимости добычи угля в пределах этапов горных работ, связанных с циклами колебания цен на уголь.

Ключевые слова: этапы открытых горных работ, регулирование режима горных работ, эксплуатационные затраты, себестоимость добычи угля, транспортирование вскрышных пород, угольные месторождения, колебания цен на рынке угля.

Для цитирования: *Таланин В. В., Бехер В. Г., Казаков В. А.* Особенности регулирования режима открытых горных работ в условиях волатильности рынка угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 5. – С. 142–154. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_142.

Adjustment of operating routine in open pit mining given the coal market volatility

V.V. Talanin[1], V.G. Bekher[1], V.A. Kazakov[1]

[1] Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
Moscow, Russia, e-mail: kazakov.va@misis.ru

© В.В. Таланин, В.Г. Бехер, В.А. Казаков. 2023.

Abstract: The economic efficiency of open pit mineral mining exhibits a tight connection and dependence on geological conditions, major open pit parameters, mining period and technology, method of operation, mechanization and management, as well as the selected operating routine. A routine of mining is a project-set sequence of stripping and actual mining in time to ensure safe, well-scheduled and economically efficient production. Operation of a coal mine is governed by the economic factors, first of all, which conform with the external macroeconomic conditions. A prime economic factor of mineral mining is the allowable mineral production cost composed of the operating cost of stripping and actual mining. At the known production capacity of an open pit mine, the cost of stripping depends in many ways on the stripping volume and conditions. Adjustment of the latter can change the mineral mining cost within certain limits, to ensure the mine profitability in the conditions of price volatility. The article discusses the operating routine adjustment in open pit mining subject to price volatility on the coal market. Controllability of the coal mining cost is estimated per mining stages connected with cycles of coal price fluctuations.

Key words: open pit mining stages, mining routine adjustment, operating cost, coal mining cost, overburden rock haulage, coal fields, coal market price fluctuation.

For citation: Talanin V. V., Bekher V. G., Kazakov V. A. Adjustment of operating routine in open pit mining given the coal market volatility. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(5):142-154. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_142.

Введение

В условиях нестабильного состоянии рынка угля регулирование режима горных работ целесообразно осуществлять этапами, продолжительность которых необходимо определять в соответствии с циклами колебания цен, что обеспечивает приемлемый уровень достоверности прогнозирования технико-экономических показателей работы предприятия. Для обеспечения безубыточной работы угледобывающего предприятия в условиях высокой волатильности цен на рынке угля необходимо создать условия для оперативного управления себестоимостью добычи в диапазонах, эквивалентных амплитудам колебания цен. При относительно выдержанном качестве добываемого угля в пределах этапа основной управляемой частью себестоимости добычи являются эксплуатационные затраты на вскрышные работы. В свою очередь, показателями, оказывающими наибольшее влияние на уровень эксплуатационных затрат, являются текущий коэффициент вскрыши и дальность транспортирования вскрышных пород. При управлении данными показателями имеется ряд ограничений в зависимости от условий эксплуатации месторождений, что может оказать влияние на параметры этапов открытых горных работ.

Анализ волатильности рынка угля

Анализ состояния рынка угля за последние 20 лет позволяет не только выделить характерные циклы поведения цен, но и отметить тенденции, получившие свое развитие к настоящему моменту (рис. 1). Продолжительность циклов колебания цен на рынке угля находится в пределах 3—7 лет, при этом продолжительность периода со значениями цен ниже среднего уровня составляет порядка 50—60% от продолжительности цикла. За период с 1998 г. до настоящего момента наблюдается рост амплиту-

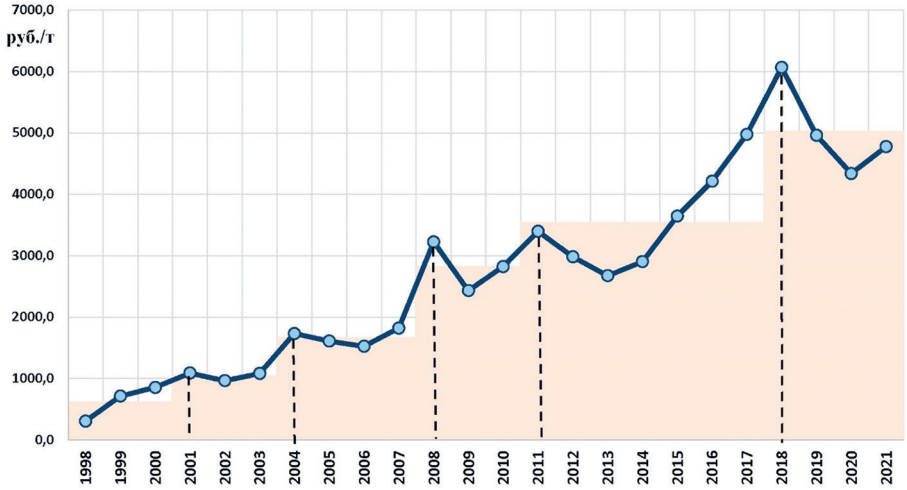

Рис. 1. Среднее изменение цен на рынке угля

Fig. 1. Average coal market fluctuations

ды колебания цен более чем 3 раза, что сегодня ставит перед предприятиями, осуществляющими добычу угля открытым способом, задачу по управлению уровнем себестоимости добычи в диапазонах более 40 — 50% от среднего в этапе [1].

Анализируя последний завершенный цикл фактических цен на рынке угля (2011 — 2018 гг.), можно констатировать

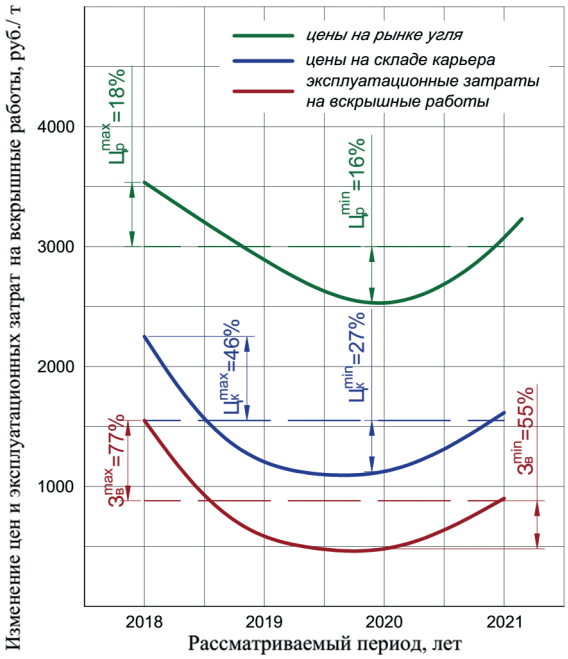

Рис. 2. Изменение цен и эксплуатационных затрат на вскрышные работы в пределах этапа на примере конкретного угольного месторождения

Fig. 2. Variation in prices and operating costs of stripping per mining stage as a case-study of a specific coal field

максимальное превышение цен относительно среднего по циклу на 40%, а снижение — на 25%. Интенсивность колебания цен на рынке угля в редких случаях может соответствовать интенсивности колебания цен на складе товарной продукции карьера, которая получается путем вычитания из рыночных цен налогов таможенных пошлин, коммерческих затрат и затрат на логистику. В свою очередь изменение заданных эксплуатационных затрат на вскрышные работы, полученное путем резервирования минимальной прибыли предприятия и вычитания эксплуатационных затрат на добычные работы, тоже отличается от интенсивности изменения цен на складе угля карьера [2]. В результате диапазон необходимого изменения уровня затрат на вскрышные работы значительно расширяется. На примере одного из карьеров Кузбасса (см. рис. 2) видно, что амплитуда максимального отклонения от средних значений увеличивается более чем в 4 раза, с 18% для рыночных цен ($Ц^{max}_{р}$) до 77% по эксплуатационным затратам ($З^{max}_{в}$); амплитуда минимального отклонения увеличивается более чем в 3 раза, с 16% для рыночных цен ($Ц^{min}_{р}$) до 55% по эксплуатационным затратам ($З^{min}_{в}$). При этом продолжительность периода, в пределах которого необходимо обеспечить среднее снижение затрат до 40%, составляет ~60% от продолжительности этапа [3, 4]. Однако следует отметить, что на большинстве предприятий, добывающих энергетический каменный уголь, только часть товарного угля реализуется на внешнем рынке, а часть — на внутреннем, где цены не подвержены такой волатильности. Поэтому интенсивность колебаний цен на всю товарную продукцию за счет сбыта на внутреннем рынке нивелируется.

Как уже было отмечено выше, основными драйверами изменения уровня эксплуатационных затрат на вскрышные работы является текущий коэффициент вскрыши и расстояние транспортирования вскрышных пород. Существует целый ряд методов управления величиной текущего коэффициента вскрыши во времени, среди которых — регулирование направления и интенсивности развития горных работ, изменение протяженности активного фронта горных работ, временное изменение мощности карьера, создание резервных складов и подготовленных запасов угля и изменение системы разработки. Основными являются изменение углов откоса и конструкции рабочих бортов карьера. При необходимости увеличения текущего коэффициента вскрыши рабочий борт необходимо выполаживать [5—7].

Ограничивающим фактором при этом является максимально возможная скорость подвигания фронта горных работ. При снижении текущего коэффициента вскрыши угол откоса рабочего борта необходимо увеличивать за счет сокращения ширины рабочих площадок до минимально возможных значений (см. рис. 3). Сохранение минимальных рабочих площадок ($Ш_{р.п.min}$) необходимо для возможности оперативного выполаживания рабочего борта при переходе к периоду, характеризующемуся ростом цен на уголь, в связи с этим максимально возможный угол откоса борта не должен превышать 25–30° [8—11].

Выполненные исследования показали, что возможность снижения текущих объемов вскрышных пород, а соответственно и текущего коэффициента вскрыши, во многом зависят от величины угла откоса исходного рабочего борта (борта на начало периода снижения текущего коэффициента вскрыши (рис. 4)). Более пологий угол откоса исходного рабочего борта увеличивает возможность снижения текущего объема вскрышных работ, что свидетельствует о целесообразности выполнения максимально возможного

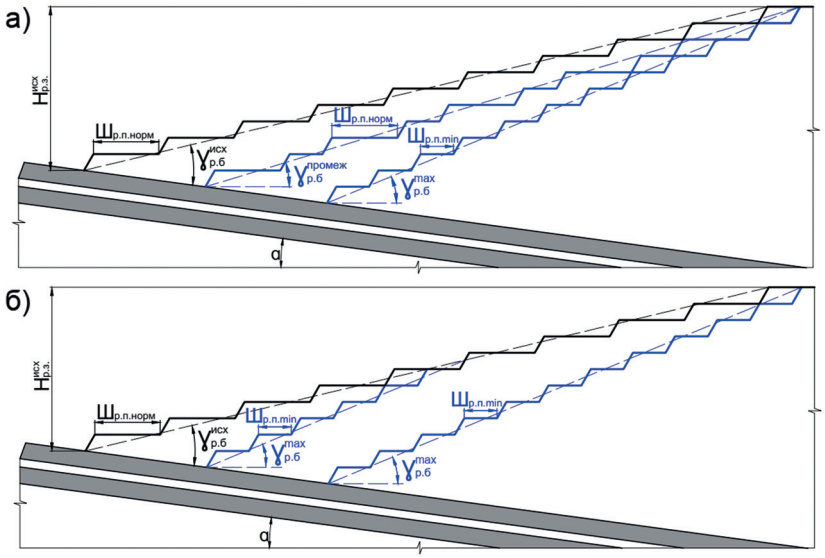

Рис. 3. Схемы сокращения годовых объемов вскрышных работ за счет увеличения угла откоса рабочей зоны карьера: при постоянном угле откоса (а); при переменном угле откоса (б)

Fig. 3. Reduction in annual volume of stripping by way of increasing slope angle in working zone in open pit mine: constant slope angle (a); varied slope angle (b)

объема вскрышных работ в периоды роста цен выше среднего уровня в этапе. Ограничивающим фактором для выполаживания угла откоса исходного борта, кроме скорости подвигания фронта горных работ, является также уровень и продолжительность периода высоких цен на уголь. Например, если цены на

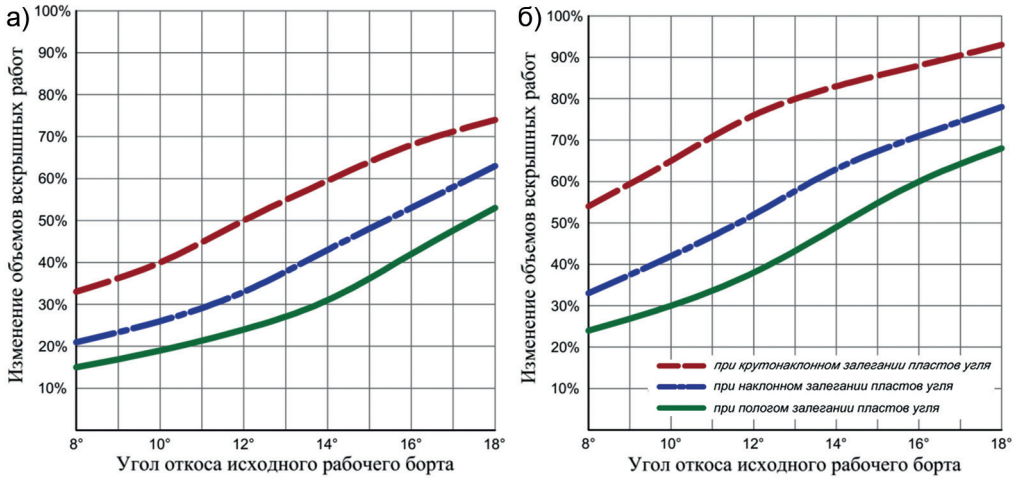

Рис. 4. Изменение максимального снижения объемов вскрышных работ от среднего уровня в этапе за счет увеличения угла откоса рабочего борта до 25° в зависимости от угла откоса исходного рабочего борта при продолжительности периода снижения эксплуатационных затрат до 40% от продолжительности этапа (а) и до 60% (б)

Fig. 4. Change of maximum reduction in volume of stripping relative to average level per mining stage by increasing highwall slope to 25° as compared with initial slope at operating cost reduced by 40% (a) and by 60% (b)

уголь в данный период позволят нарастить объем вскрышных работ на 50%, то угол откоса рабочего борта при высоте рабочей зоны порядка 80 — 100 м и угле падения пластов 15 — 20° удастся снизить всего на 3 — 5°. Учитывая, что на начало периода роста цен после снижения угол был достаточно крутой, величина угла исходного откоса рабочего борта будет находиться в диапазоне не менее 10 — 15°.

Даже при значительном выполаживании исходного рабочего борта увеличение продолжительности периода снижения цен относительно среднего в этапе приводит к сокращению возможности снижения объемов вскрышных пород. Так, например, при продолжительности периода снижения цен 40% от продолжительности всего этапа (рис. 4, *а*) и угле откоса исходного борта 14° для наклонного падения пластов угля возможность максимального снижения объемов вскрышных работ при рассмотренных условиях составит 55 — 57%. При увеличении продолжительности периода снижения цен до 60% (рис. 4, *б*) возможность максимального снижения объемов вскрышных работ сокращается до 35 — 37%, то есть примерно на 20%. При этом увеличение угла падения пластов угля дополнительно сокращает возможность снижения объемов вскрышных работ. Это связано с необходимостью регулировать режим горных работ не только с учетом колебания цен на рынке угля, но и с учетом углубления горных работ и роста высоты рабочей зоны. Таким образом, проведенные исследования показали, что добиться оперативного снижения эксплуатационных затрат на вскрышные работы до необходимого уровня за счет только снижения текущего коэффициента вскрыши в определенных условиях невозможно.

Дополнительным фактором, способным усилить снижение уровня эксплуатационных затрат, является сокращение дальности транспортирования вскрышных пород [12]. Диапазон снижения дальности транспортирования достаточно большой, но также имеет ряд ограничений. Так, при внешнем отвалообразовании часть пути следования транспорта, связанную с подъемом вскрышных пород из карьера на поверхность, невозможно сократить. Дополнительным негативным моментом является переход зоны концентрации горных работ при

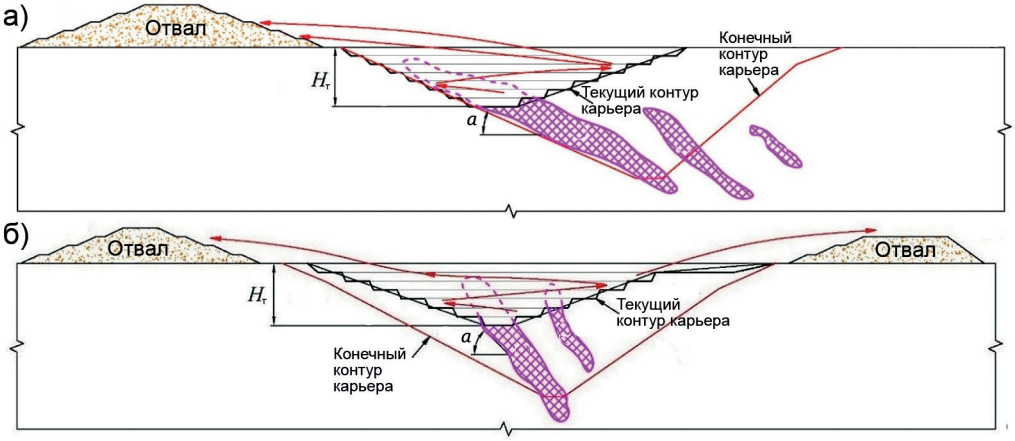

Рис. 5. Схемы размещения внешних отвалов: локальное размещение (а); рассредоточенное размещение (б)

Fig. 5. External dumping layouts: local arrangement (a); distributed arrangement (b)

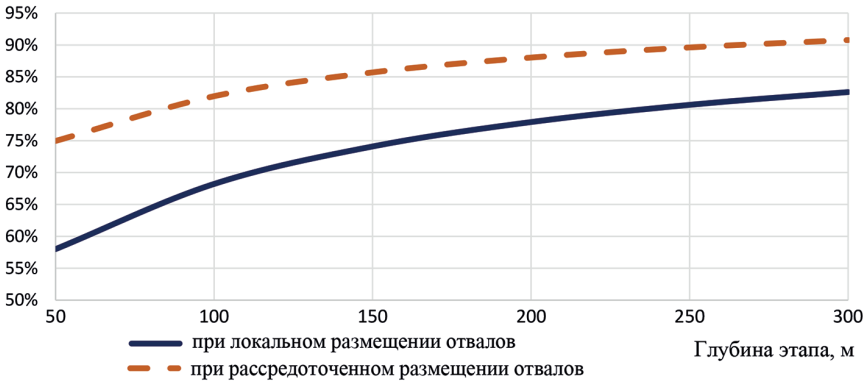

Рис. 6. Изменение возможного сокращения дальности транспортирования вскрышных пород относительно среднего по этапам от изменения глубины этапа при разных условиях размещения отвалов в условиях применения углубочных систем разработки

Fig. 6. Variation in possible reduction in overburden haulage distance relative to its average value per mining stages versus varied depth of mining at different dumping layouts with downward growth of open pit mine

увеличении откоса рабочего борта на глубокие горизонты, что приводит к росту расстояний транспортирования на подъем [13, 14]. Возможность сокращения дальности транспортирования также зависит от глубины этапа и условий размещения отвалов (рис. 5). При локальном размещении отвалов (рис. 5, *а*)

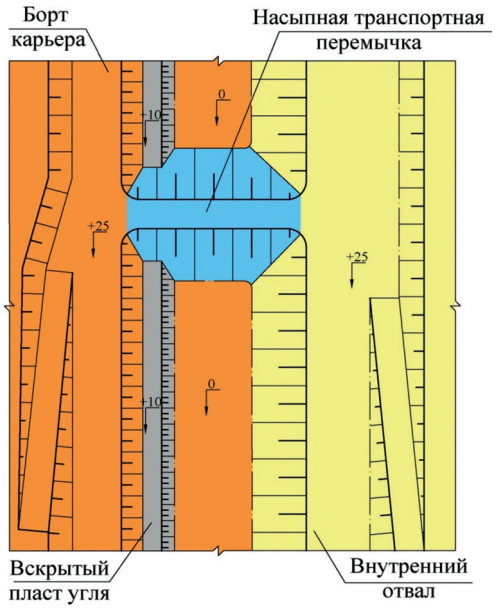

Рис. 7. Схема насыпной транспортной перемычки

Fig. 7. Schematic of earth-fill transport cofferdam

в условиях ограничения земельного отвода средняя дальность транспортирования, как правило, высокая, в связи с интенсивным отдалением центра масс отвала от карьера по мере его развития, но при этом возможность сокращения дальности транспортирования шире (~20—40%), чем при рассредоточенном размещении отвалов в прибортовой зоне (~10—25%) (рис. 6).

Вариант рассредоточенного размещения отвалов (рис. 5, *б*) имеет меньшее среднее расстояние транспортирования на 10—20% [15, 16].

В связи с этим управление изменением дальности транспортирования вскрышных пород целесообразно осуществлять не только за счет изменения зон текущего размещения вскрышных пород в пределах отвала, но самим размещением отвалов относительно карьера.

При использовании сплошных систем разработки вскрышные породы перевозятся во внутренний отвал по дорогам, расположенным на рабочем борту и в торцах карьера, что существенно увеличивает расстояние транспортирования [17]. В этой связи сокращение расстояний перемещения вскрышных пород связано в основном с сокращением транспор-

тирования вдоль фронта работ, которое можно обеспечить за счет применения насыпных транспортных перемычек [18, 19]. Транспортные перемычки соединяют нижнюю и среднюю части рабочей зоны карьера с ярусами внутреннего отвала по кратчайшему расстоянию, что существенно снижает расстояние транспортирования вскрышных пород и транспортные расходы на разработку (рис. 7). Насыпные перемычки являются временными сооружениями. В результате создания транспортных перемычек сокращение расстояния транспортирования вскрыши может достигать 60—70%, в отдельных случаях до 80% от среднего по этапу (рис. 8). Особенно это эффективно при значительной (более 2 км) протяженности рабочего борта по дну.

Как показали проведенные исследования, возможность управления основными драйверами эксплуатационных затрат на вскрышные работы, такими как текущий коэффициент вскрыши и дальность транспортирования вскрышных пород, имеет ограничения по снижению их уровня в зависимости от условий разработки угольных месторождений.

Совокупное снижение текущего коэффициента вскрыши и дальности транспортирования вскрышных пород не даст пропорционального снижения себестоимости добычи угля (см. рис. 9). При хозяйственном способе производства горных работ в эксплуатационных затратах существует доля условно-постоянных затрат, которая не изменится при снижении объемов работ (рис. 9, *а*). Причем уровень условно-постоянных затрат в данной ситуации несколько выше, чем при планировании по средним показателям работы предприятия. Продолжительность периода снижения цен на уголь относительно среднего в этапе, как правило, составляет от 1 до 3 лет, на этот период для предприятия будет нецелесообразно сокращать парк оборудования, существенно сокращать штат основного и вспомогательного персонала, консервировать ремонтно-техническую базу.

Поэтому такие статьи затрат, как амортизационные отчисления, оплата труда,

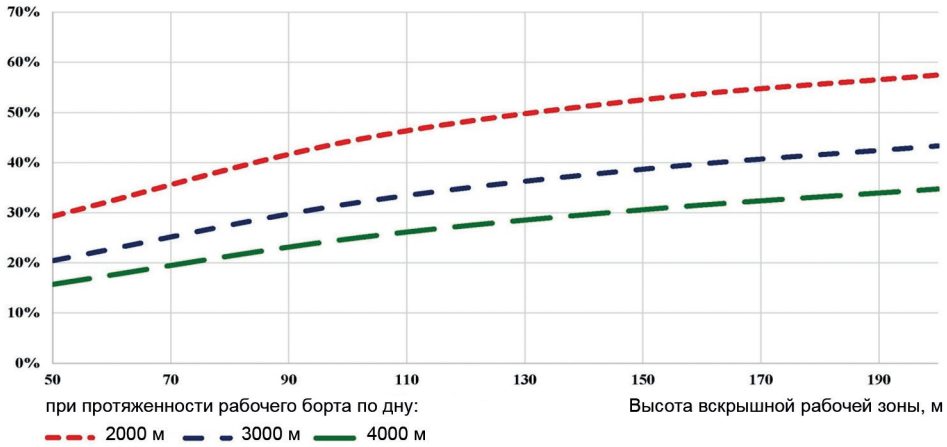

Рис. 8. Изменение возможного сокращения дальности транспортирования вскрышных пород относительно среднего по этапам от изменения высоты вскрышной рабочей зоны при разной протяженности рабочего борта по дну в условиях применения транспортных перемычек при сплошных системах разработки

Fig. 8. Variation in possible reduction in overburden haulage distance relative to its average value per mining stages versus varied height of stripping zone at different bottom length of highwall in continuous mining with arrangement of transport cofferdams

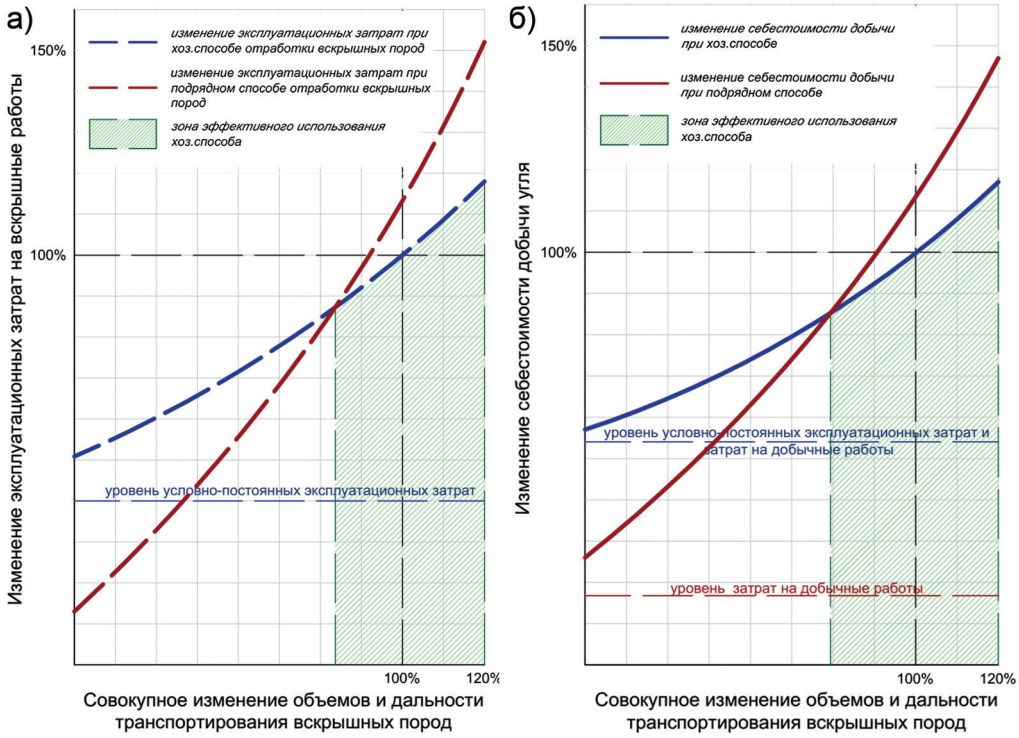

Рис. 9. Изменение эксплуатационных затрат на вскрышные работы (а) и себестоимости добычи (б) в зависимости от изменения объемов отработки и дальности транспортирования вскрышных пород при хозяйственном и подрядном способе ведения работ

Fig. 9. Variation in operating cost of stripping (a) and actual mining (b) versus changed mining volume and overburden haulage distance in self-support and contractual working

частично затраты на ремонт и общецеховые расходы, будут условно-постоянными [20]. В период увеличения цен на уголь при хозспособе ограничена возможность наращивания объема работ. Как правило, парк оборудования формируется при среднем коэффициенте использования на уровне 0,75 — 0,8, поэтому возможность краткосрочного наращивания производительности комплексов оборудования не превысит 20 — 25%. В такой ситуации одним из решений является использование подрядного способа производства работ. Привлечение подрядных организаций существенно расширяет диапазон изменения уровня затрат на вскрышные работы. При этом, учитывая коммерческую составляющую расценок на услуги подрядчиков, их величина в среднем на 10 — 15% выше, чем при использовании собственного оборудования, что приводит к необходимости корректировки объемов работ для обеспечения рентабельной работы в текущих ценах. Так, темп наращивания объемов вскрышных работ в период роста цен придется снизить, а в период падения цен сокращение объемов необходимо усилить эквивалентно на 10 — 15%.

Анализ результатов исследований (см. рис. 9) показал, что в условиях изменения себестоимости добычи угля ±20% от уровня себестоимости этапа целесообразно применение хозспособа, при увеличении амплитуды колебании свыше 20% целесообразно привлечение подрядных организаций. Роль постоянных затрат в себестоимости добычи угля как

при хозяйственном, так и при подрядном способах играют эксплуатационные затраты на добычные работы, поэтому снижение объемов вскрышных работ не дают пропорционального снижения себестоимости добычи угля. Так, например, совокупное снижение текущего коэффициента вскрыши и дальности транспортирования вскрышных пород на 20% дает снижение себестоимости добычи угля всего на 15% от среднего в этапе (см. рис. 9, *б*).

Проведенные исследования показали, что темп снижения уровня себестоимости добычи угля, как правило, меньше снижения объемов вскрышных работ. Это позволяет сделать вывод, что при отсутствии возможности оперативного снижения эксплуатационных затрат на вскрышные работы до необходимого уровня при значительных амплитудах колебания цен на рынке угля или при работе в условиях продолжительных периодов низких цен средний уровень эксплуатационных затрат этапа необходимо понизить до уровня, при котором это условие может быть реализовано (рис. 10).

Альтернативным решением может стать создание конкурентных запасов угля (с благоприятными горнотехническими условиями), которые необходимо создавать путем привлечения дополнительных капитальных затрат и вовлекать в разработку в период снижения цен.

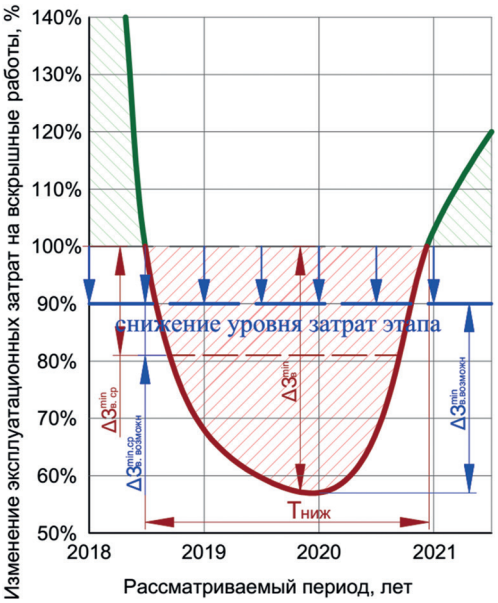

Рис. 10. Корректировка среднего уровня затрат на вскрышные работы этапа, обеспечивающая безубыточную работу в период снижения цен на уголь

Fig. 10. Average stripping cost readjustment to ensure breakeven operation during coal price reduction

Заключение

1. Как показали проведенные исследования, создание условий для оперативного управления себестоимостью добычи дает возможность эффективного освоения угольных месторождений в условиях колебания цен на рынке угля.

2. Возможность управления основными драйверами эксплуатационных затрат на вскрышные работы, такими как текущий коэффициент вскрыши и дальность транспортирования вскрышных пород, имеет ограничения по снижению их уровня в зависимости от условий разработки угольных месторождений.

3. Совокупное снижение текущего коэффициента вскрыши и дальности транспортирования вскрышных пород не дает пропорционального уменьшения себестоимости добычи угля.

4. При необходимости изменения себестоимости добычи угля ±20% от уровня себестоимости этапа целесообразно применение хозспособа, при увеличении амплитуды колебании свыше 20% целесообразно привлечение подрядных организаций.

5. Параметры этапов развития открытых горных работ должны создавать условия для оперативного снижения текущих эксплуатационных затрат на вскрышные работы, обеспечивающие безубыточную работу предприятия в период падения цен на рынке угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бехер В. Г.* Методические основы обоснования параметров этапов открытых горных работ в условиях колебания цен на рынке угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — СВ 8. — С. 3—10. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_8_3.

2. *Suparno F., Paithankar A., Chatterjee S.* Developing risk assessment of push-back designs for an Indonesian coal mine under price uncertainty // AIP Conference Proceedings. 2020, vol. 2245, no. 1, article 080002. DOI: 10.1063/5.0007060.

3. *Бехер В. Г.* Обоснование эффективности регулирования транспортной работы вскрышного грузопотока на угольных разрезах в пределах этапов открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — СВ 8. — С. 11—21. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_8_11.

4. *Khoyutanov E. A., Gavrilov V. L.* Procedure for estimating natural and technological components in ash content of produced coa // Journal of Mining Science. 2018, vol. 54, no. 5, pp. 782—792. DOI: 10.1134/S1062739118054891.

5. *Радченко С. А., Таланин В. В., Гринвальд К. Ю., Каранов Д. Р., Матвеев А. В., Бехер В. Г.* Регулирование контуров открытых горных работ посредством изменения производственной мощности карьера // Уголь. — 2019. — № 3. — С. 66—70. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-6-22-26.

6. *Wijayanto T. M., Wilopo W., Budi Indrawan G., Sunarko* Relationship between pit slope design and coal reserve estimation in Pit X, MuaraEnim, South Sumatra Province // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 200, article 02021. DOI: 10.1051/e3sconf/202020002021.

7. *Xin-hai Z., Kai W., Kai D., Jing-wen L.* Stripping and excavating control technology of spontaneous combustion area in shallow buried coal seam // E3S Web of Conferences. 2021, vol. 233, article 01002. DOI: 10.1051/e3sconf/202123301002.

8. *Plotnikov E., Kolesnikov V., Šimková Z., Demirel N.* Features of new sites designing on quarry fields of the existing open pit mines of Kuzbass // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 174, article 01003. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401003.

9. *Курбатов Д. С., Гао Леи Фу* Применение аутсорсинга на открытой угледобыче: структура принятия решений с формальным алгоритмом // Уголь. — 2020. — № 1. — С. 26—30. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-1-26-31.

10. *Murko V. I., Chernikova O. P., Yuriev A. B., Temlyantseva E. N.* Potential for pipeline transportation of Kuzbass coal // IOP Conference Series. Earth and Environmental Science. 2021, vol. 723, no. 5, article 052027. DOI: 10.1088/1755-1315/723/5/052027.

11. *Selyukov A., Gerasimov A., Grishin V.* The results of mining and geometric analysis in open pit mining of promising kuzbass coal deposits with block system // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 174, article 01020. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401020.

12. *Purhamadani E., Bagherpoura R., Tudeshkib H.* Energy consumption in open-pit mining operations relying on reduced energy consumption for haulage using in-pit crusher system // Journal of Cleaner Production. 2021, vol. 291, article 125228. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125228.

13. *Das R., Topal E., Mardenah E.* Optimised pit scheduling including in-pit dumps for stratified deposit / Proceedings of the 28th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection MPES 2019. 2020, pp. 33—41. DOI: 10.1007/978-3-030-33954-8_4.

14. *Gu Xiaowei, Qing Wang, Xiaochuan Xu, Xiaoqian Ma* Phase planning for open pit coal mines through nested pit generation and dynamic programming // Mathematical Problems in Engineering. 2021, vol. 2021, article 8219431. DOI: 10.1155/2021/8219431.

15. *Haiming Bao, Ruixin Zhang* Study on optimization of coal truck flow in open-pit mine // Advances in Civil Engineering. 2020, vol. 2020, article 8848140. DOI: 10.1155/2020/8848140.

16. *Pulungan L., Arbianto V.* Coal handling quality from pits to stockpiles to market specifications // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 830, no. 4, article 042039. DOI: 10.1088/1757-899X/830/4/042039.

17. *Sirait B.* Pavement design of coal mine hauling road in Indonesia using California Bearing Ratio (CBR) data // International Conference on the Ocean and Earth Sciences. Earth

and Environmental Science. 2021, vol. 789, no. 1, article 012075. DOI: 10.1088/1755-1315/789/1/012075.

18. *Минибаев Р. Р.*, *Матвеев А. В.*, *Пушкарев В. Ю.*, *Макшеев В. П.*, *Ворошилин К. С.* Оптимизация карьерных грузопотоков с помощью насыпных транспортных перемычек (на примере разреза АО «Черниговец») // Рациональное освоение недр. — 2016. — № 4. — С. 38—41.

19. *Гушинец В. А.*, *Сидоров Р. В.*, *Корчагина Т. В.*, *Мезина Е. Н.*, *Ворошилин К. С.* Опыт применения насыпных перемычек для вскрытия и отработки рабочих горизонтов разреза ОАО «Черниговец» // Уголь. — 2014. — № 11. — С. 16—18.

20. *Kirin S., Li W., Brzaković M., Miljanović I., Sedmak A.* Rules of risk management — case study of open pit mine // Procedia Structural Integrity. 2020, vol. 28, no. 2, pp. 764—769. DOI: 10.1016/j.prostr.2020.10.088. ГИАБ

REFERENCES

1. Bekher V. G. Methodological basis for justification of the parameters of open pit mining stages in the conditions of changing prices on the coal market. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, special edition 8, pp. 3—10. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_8_3.

2. Suparno F., Paithankar A., Chatterjee S. Developing risk assessment of push-back designs for an Indonesian coal mine under price uncertainty. *AIP Conference Proceedings*. 2020, vol. 2245, no. 1, article 080002. DOI: 10.1063/5.0007060.

3. Bekher V. G. Justification of the efficiency of regulating the transport work of the overburden traffic at coal quarries within the stages of open pit mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, special edition 8, pp. 11—21. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_8_11.

4. Khoyutanov E. A., Gavrilov V. L. Procedure for estimating natural and technological components in ash content of produced coa. *Journal of Mining Science*. 2018, vol. 54, no. 5, pp. 782—792. DOI: 10.1134/S1062739118054891.

5. Radchenko S. A., Talanin V. V., Grinvald K. Yu., Matveev A. V., Bekher V. G. Regulation of surface mining contours by changing the quarry production capacity. *Ugol'* 2019, no. 3, pp. 66—70. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-6-22-26.

6. Wijayanto T. M., Wilopo W., Budi Indrawan G., Sunarko Relationship between pit slope design and coal reserve estimation in Pit X, MuaraEnim, South Sumatra Province. *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 200, article 02021. DOI: 10.1051/e3sconf/202020002021.

7. Xin-hai Z., Kai W., Kai D., Jing-wen L. Stripping and excavating control technology of spontaneous combustion area in shallow buried coal seam. *E3S Web of Conferences*. 2021, vol. 233, article 01002. DOI: 10.1051/e3sconf/202123301002.

8. Plotnikov E., Kolesnikov V., Šimková Z., Demirel N. Features of new sites designing on quarry fields of the existing open pit mines of Kuzbass. *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 174, article 01003. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401003.

9. Kurbatov D. S., Gao Lei Fu. Outsourcing in surface mining operations: decision-making framework with formal algorithm. *Ugol'*. 2020, no. 1, pp. 26—30. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-1-26-31.

10. Murko V. I., Chernikova O. P., Yuriev A. B., Temlyantseva E. N. Potential for pipeline transportation of Kuzbass coal. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 723, no. 5, article 052027. DOI: 10.1088/1755-1315/723/5/052027.

11. Selyukov A., Gerasimov A., Grishin V. The results of mining and geometric analysis in open pit mining of promising kuzbass coal deposits with block system. *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 174, article 01020. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401020.

12. Purhamadani E., Bagherpoura R., Tudeshkib H. Energy consumption in open-pit mining operations relying on reduced energy consumption for haulage using in-pit crusher system. *Journal of Cleaner Production*. 2021, vol. 291, article 125228. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125228.

13. Das R., Topal E., Mardenah E. Optimised pit scheduling including in-pit dumps for stratified deposit. *Proceedings of the 28th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection MPES 2019*. 2020, pp. 33—41. DOI: 10.1007/978-3-030-33954-8_4.

14. Gu Xiaowei, Qing Wang, Xiaochuan Xu, Xiaoqian Ma Phase planning for open pit coal mines through nested pit generation and dynamic programming. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021, vol. 2021, article 8219431. DOI: 10.1155/2021/8219431.

15. Haiming Bao, Ruixin Zhang Study on optimization of coal truck flow in open-pit mine. *Advances in Civil Engineering*. 2020, vol. 2020, article 8848140. DOI: 10.1155/2020/8848140.

16. Pulungan L., Arbianto V. Coal handling quality from pits to stockpiles to market specifications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 830, no. 4, article 042039. DOI: 10.1088/1757-899X/830/4/042039.

17. Sirait B. Pavement design of coal mine hauling road in Indonesia using California Bearing Ratio (CBR) data. International Conference on the Ocean and Earth Sciences. *Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 789, no. 1, article 012075. DOI: 10.1088/1755-1315/789/1/012075.

18. Minibaiev R. R., Matveev A. V., Pushkarev V. Yu., Maksheev V. P., Voroshilin K. S. Practical experience using transport earth-fill coffer-damsin optimize freight flows on opencast coal mine (on the example of the OJSC «Chernigovets»). *Ratsionalnoe osvoenie nedr*. 2016, no. 4, pp. 38—41. [In Russ].

19. Gushinets V. A., Sidorov R. V., Korchagina T. V., Mezina E. N., Voroshilin K. S. Experience of using the earth-fill cofferdams for opening and mining of producing levels at the open-pit mine of «Chernigovets». *Ugol'*. 2014, no. 11, pp. 16—18. [In Russ].

20. Kirin S., Li W., Brzaković M., Miljanović I., Sedmak A. Rules of risk management — case study of open pit mine. *Procedia Structural Integrity*. 2020, vol. 28, no. 2, pp. 764—769. DOI: 10.1016/j.prostr.2020.10.088.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Таланин Владимир Вадимович[1] — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: vtalanin@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-9432-1443,
Бехер Вадим Григорьевич[1] — аспирант,
e-mail: v.bekher@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0002-1300-9456,
Казаков Владимир Александрович[1] — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: kazakov.va@misis.ru,
ORCID ID: 0000-0002-7700-3985,
[1] Горный институт, НИТУ «МИСиС».
Для контактов: Казаков В.А., e-mail: kazakov.va@misis.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.V. Talanin[1], Cand. Sci. (Eng.),
Assistant Professor, e-mail: vtalanin@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-9432-1443,
V.G. Bekher[1], Graduate Student,
e-mail: v.bekher@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0002-1300-9456,
V.A. Kazakov[1], Cand. Sci. (Eng.),
Assistant Professor, e-mail: kazakov.va@misis.ru,
ORCID ID: 0000-0002-7700-3985,
[1] Mining Institute, National University of Science
and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.
Corresponding author: V.A. Kazakov, e-mail: kazakov.va@misis.ru.

Получена редакцией 19.09.2022; получена после рецензии 16.11.2022; принята к печати 10.04.2023.
Received by the editors 19.09.2022; received after the review 16.11.2022; accepted for printing 10.04.2023.