

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-119-130

Управление качеством товарной продукции в условиях отработки сложноструктурного угольного месторождения

Азев В. А.¹, Попов Д. В.²¹ООО «СУЭК-Хакасия», г. Черногорск, респ. Хакасия, Россия;²ООО «Восточно-Бейский разрез», с. Кирба, респ. Хакасия, Россия

Аннотация: Глобализация мирового рынка энергетического сырья привела к тому, что в последние десятилетия существенно возросла динамика изменений параметров рынка энергетического угля. Истощение «богатых» месторождений полезных ископаемых предполагает освоение новых месторождений, имеющих более сложную структуру и характеристики. В статье предлагается новый подход к управлению качеством товарной продукции при отработке сложноструктурного угольного месторождения, показавший свою эффективность в условиях Бейского месторождения. В основе подхода к управлению качеством товарной продукции лежит идея о релевантности повышения качества технологических процессов и их дифференциации по критерию максимального соотношения ценности и себестоимости продукции. Предложены типовые решения и результаты реализации разработанного методического подхода к управлению качеством товарной продукции на примере Восточно-Бейского угольного разреза. Применены методы анализа технологических факторов, влияющих на выбор параметров технологических операций, и обоснование процессов при подготовке блоков, экскавации, транспортировании, складировании и переработке продукции при открытом способе отработки сложноструктурного месторождения каменного угля. Реализация разработанных технологических решений в условиях Восточно-Бейского каменноугольного разреза позволила получить положительные результаты, выражающиеся в росте качественных показателей товарной продукции на 4–6 %.

Ключевые слова: качество продукции, управление качеством товарной продукции, сложноструктурное угольное месторождение, качество технологических процессов, ценность продукции, себестоимость продукции.

Для цитирования: Азев В. А., Попов Д. В. Управление качеством товарной продукции в условиях отработки сложноструктурного угольного месторождения. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):119-130. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-119-130.

Marketable Product Quality Management in Conditions of Coal Mining at a Deposit of Complicated Structure

V. A. Azev¹, D. V. Popov²¹LLC SUEK-Khakassia, Chernogorsk, Khakassia, Russia;²LLC Vostochno-Beisky Razrez (East Bei Colliery), Kirba, Khakassia, Russia

Abstract: Globalization of the energy feedstock market has led to the fact that, in recent decades, parameters of the thermal coal market significantly changed. Depletion of “rich” deposits implies development of new deposits of more complicated structure and characteristics. The paper proposes a new approach to managing quality of marketable products in the course of development of a coal deposit of complicated structure, which has demonstrated its effectiveness in the conditions of the Beisky deposit. The approach to managing quality of the marketable products is based on the concept of the relevance of improving the quality of technological processes and their differentiation according to the criterion of the maximum ratio of value and cost of the products. Typical solutions are proposed, and the results of implementation of the developed methodological approach to managing quality of the marketable products as exemplified by the Vostochno-Beisky open-pit coal mine are presented. Methods of analysis of technological factors governing the selection of parameters of the process operations were used, and the substantiation of the processes for preparation of blocks, excavation, transportation, storage and processing of products in conditions of open pit mining of a coal deposit having complicated structure was performed. The implementation of the developed technological solutions in



the conditions of the Vostochno-Beisky open-pit coal mine allowed to obtain positive results, expressed in the growth of quality indicators of the marketable products by 4–6 %.

Keywords: product quality, product quality management, coal deposit of complicated structure, quality of technological processes, product value, product cost.

For citation: Azev V. A., Popov D. V. Marketable product quality management in conditions of coal mining at a deposit of complicated structure. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):119-130. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-119-130.

Актуальность

Истощение «богатых» месторождений полезных ископаемых предполагает освоение новых месторождений, имеющих более сложную структуру и характеристики. Так, например, в угольной отрасли России доля продукции, произведенной на сложноструктурных месторождениях, расположенных в таких регионах, как Республика Хакасия (Бейский угольный кластер – Восточно-Бейский, Кирбинский, Майрыхский разрезы и т.д.) и Республика Бурятия (Никольский разрез) к 2030 г. вырастет в 3 раза и составит 11,7 %.

Глобализация мирового рынка энергетического сырья привела к тому, что в последние десятилетия существенно возросла динамика изменения параметров рынка энергетического угля. Очередное падение цен на угольную продукцию для энергетики началось в 2019 г., оно обусловлено главным образом отказом стран Западной Европы от «грязных» видов топлива. В течение одного календарного года цены на стандартную угольную продукцию снизились в 1,5-2,0 раза. Кризис обострил системные несоответствия, характерные для угольных разрезов России, обрабатывающих сложноструктурные месторождения. Традиционные проектные технические и технологические решения ориентированы на стабильный спрос продукции и ориентированы на достаточно постоянные значения основных параметров горнотехнической системы разреза. В настоящее время для обеспечения жизнеспособности горного предприятия, необходимо выдерживать падение спроса на угольную продукцию, которое достигает 20–30 % на протяжении года, при росте стоимости материально-технических, энергетических ресурсов, тарифов перевозчиков на 5–15 %.

Одновременно рынок ужесточает требования к качеству угольной продукции, ориен-

тированной на энергетическую отрасль: средняя зольность отгружаемого угля в России в 1991 г. составляла 18,2 %, в 2018 – 13 %.

Управление качеством угольной продукции предполагает выбор, подготовку и реализацию решений по повышению соотношения ценности и себестоимости, что несет в себе риски потери устойчивости предприятия. Поэтому задача разработки методического подхода для управления качеством товарной продукции угольного разреза в условиях обработки сложноструктурного месторождения обретает особую актуальность.

Целью работы является обоснование и разработка методического подхода для управления качеством товарной продукции предприятия с открытым способом добычи в условиях обработки сложноструктурного месторождения каменного угля.

Глоссарий

Сложноструктурное угольное месторождение – месторождение, имеющее несколько угольных пластов и пропластков с различной мощностью и с существенными отличиями качественных характеристик полезного ископаемого. Сложноструктурное месторождение характеризуется неравномерной и сильной изменчивостью качественных характеристик полезного ископаемого, а также его сложной морфологией. Типичным представителем таких месторождений является Бейское каменноугольное месторождение, расположенное в Республике Хакасия.

Качество товарной продукции – совокупность свойств получаемой на предприятии продукции, определяющих степень ее пригодности для использования по назначению.

Ценность продукции – важность, значимость свойств товара или услуги для потребителя с позиции удовлетворения его потребности. Традиционно в угольной отрасли применяются следующие критерии оценки ценности

продукции: зольность, теплотворная способность, содержание примесей.

Себестоимость продукции – совокупность издержек предприятия на производство и реализацию продукции.

Управление качеством товарной продукции – деятельность персонала предприятия, нацеленная на обеспечение наилучшего соотношения средневзвешенной ценности и себестоимости продукции на основе корректировок и реализации функций планирования и контроля качества, коммуникации (информации), разработки мероприятий и реализации соответствующих технологических и организационных решений.

Качество технологического процесса – устойчивая совокупность параметров технологических операций, обеспечивающих наилучшее соотношение средневзвешенной ценности и себестоимости продукции предприятия в изменяющихся условиях.

Краткий обзор исследований в области управления технологическими параметрами и проектирования открытой разработки угольных месторождений

В основе существующих методик выбора и управления технологическими параметрами открытой угледобычи лежат фундаментальные принципы, сформулированные В. В. Ржевским, А. И. Арсентьевым, В. С. Хохряковым [1–3].

Теория проектирования горных предприятий с применением аналитических методов сформирована в трудах Н. В. Мельникова, К. Н. Трубецкого, Д. Р. Каплунова, С. Е. Гавришева, [4–7].

Значительная часть исследователей внесли существенный вклад в решение сложных проблем не только проектирования горных предприятий, но и поиска комплексных технологических решений при реализации разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Существенный вклад в решение проблем, возникающих по мере развития теории проектирования освоения недр в области открытых горных работ, внесли исследования С. Ж. Галиева, L. L. Coleman, К. Р. Katen, В. Л. Яковлева, В. А. Галкина, В. В. Истомина, А. В. Соколовский, Е. Ф. Шешко, W. W. Kaufman, А. М. Newman [8–18]. Достаточно

интересные подходы в решении технологических проблем, в том числе с применением селективной отработки, управления качеством посредством смешивания продукции, решения оптимизационных задач реализации технологии и процессов добычи полезных ископаемых на открытых горных работах можно наблюдать в работах ученых США, Чили, Канады, Австралии и других стран [12–29].

Для достижения цели исследования в статье были использованы теоретические и методические положения повышения качества и ценности продукции угольного разреза, сформулированные в работах М. И. Щадова, В. Б. Артемьева, В. С. Коваленко, Виницким Л. С., Виницким К. Е., Куржей С. П., Шаль Р. Р., [30–36].

Благодаря усилиям исследователей и практиков создана научно-методическая база по определению производительности и границ карьеров, регулированию режима горных работ, разработаны способы ведения горных работ в различных горно-геологических условиях, которые достаточно широко отражают вопрос повышения эффективности производства и качества продукции на угольных разрезах. Отработка сложноструктурных месторождений имеет свои технологические особенности, а это означает, что сложившиеся методы управления качеством продукции нуждаются в уточнении, а применяемые на предприятиях приемы и технологии ведения горных работ – в изучении, обобщении и систематизации, в условиях изменчивости внешней среды.

Основное содержание

Идея подхода – обеспечение требуемого уровня качества товарной продукции угледобывающего предприятия в условиях отработки сложноструктурного месторождения каменного – угля достигается повышением качества технологических процессов и их дифференциацией по критерию максимального соотношения ценности и себестоимости продукции.

Схема разработанного методического подхода к управлению качеством товарной продукции предприятия в условиях отработки сложноструктурного месторождения каменного угля, представленная на рис. 1.

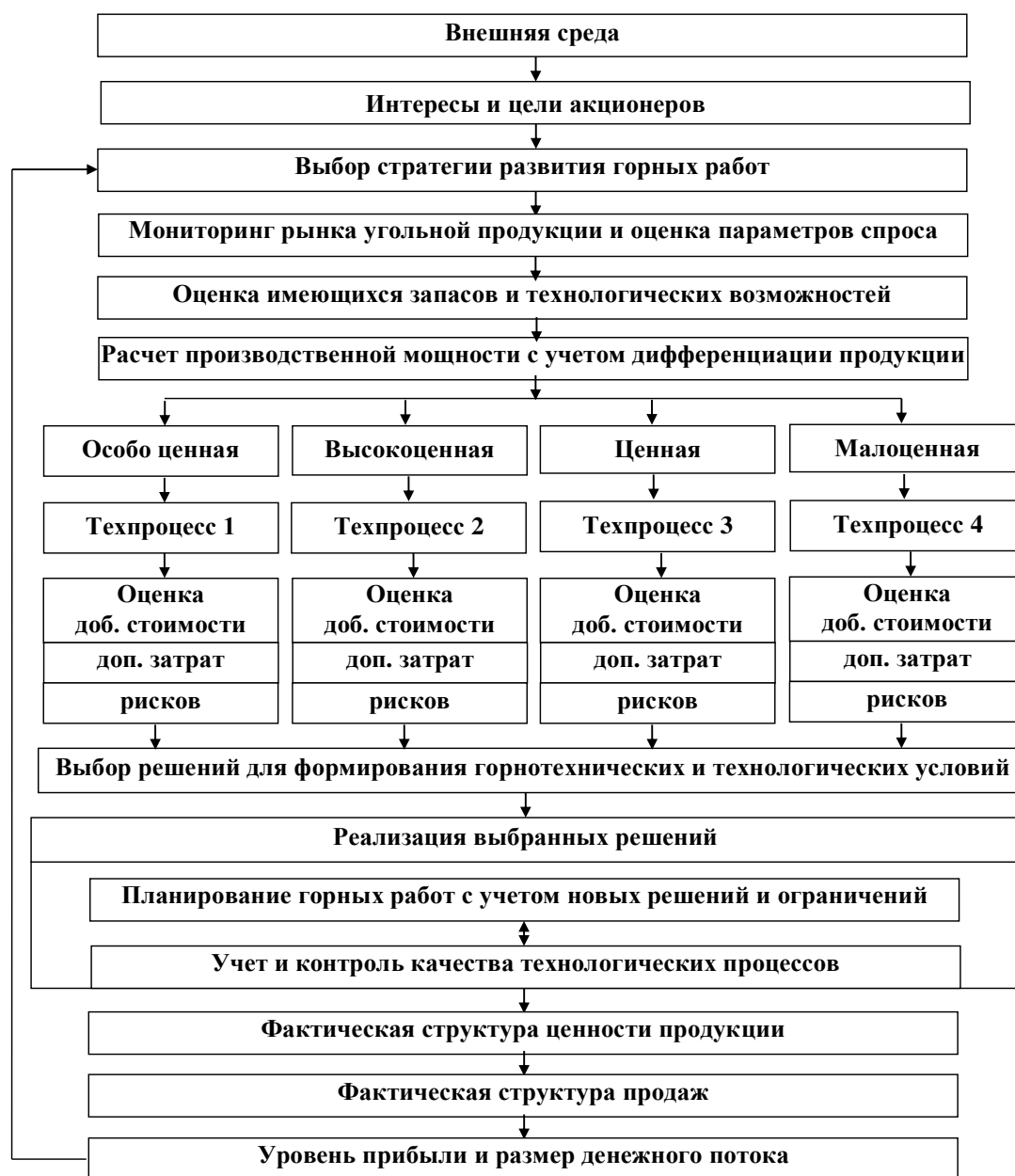


Рис. 1. Схема методического подхода к управлению качеством товарной продукции в условиях отработки сложноструктурного угольного месторождения

Fig. 1. Diagram of the methodological approach to managing quality of the marketable products in the conditions of open pit mining of coal deposit having complicated structure

Отличительной особенностью подхода являются:

– расчет производственной мощности предприятия с учетом дифференциации ценности продукции по следующим категориям: особо ценная; высокоценная; ценная; малоценная. Распределение продукции по ценности зависит от особенностей месторождения и полезного ископаемого. Например, для условия Бейского месторождения к особо ценной следует

относить угольную продукцию с теплотой сгорания более 5800 ккал/кг; к высокоценной – 5550–5800 ккал/кг; к ценной 5400–5550; к малоценной – менее 5400 ккал/кг;

– формирование соответствующих каждой категории ценности продукции параметров технологических процессов, включая подготовку, экскавацию, транспортирование, складирование и переработку;

– учет экономической целесообразности освоения нового технологического процесса на основе расчета разности между добавленной стоимостью, полученной в результате повышения качества продукции, и дополнительными затратами на реализацию мероприятий по повышению качества;

– учет возможных ограничений производительности горнотранспортного оборудования для реализации мероприятий по повышению качества;

– соблюдение высокого качества технологических процессов путем учета, мониторинга и регулирования.

В результате проведенных в 2014–2019 гг. исследований выявлены наиболее существенные технологические факторы, влияющие на выбор и регулирование параметров технологических процессов и технологических решений при подготовке, экскавации, транспортировании, складировании и переработке продукции предприятия открытого способа добычи в условиях отработки сложноструктурного месторождения каменного угля, которые представлены в табл. 1.

Для оценки рациональности применения новых технологических решений, направленных на повышение качества продукции, разработана экономико-математическая модель, представленная ниже:

$$\frac{V_{ev} Pr_{ev} + V_{hv} Pr_{hv} + V_v Pr_v + V_{lv} Pr_{lv}}{Ex_a + (Ex_{ev} + Ex_{lv} + Ex_v + Ex_{lv})} > \frac{V_{cp} Pr_{cp}}{Ex_d},$$

где V_{ev} , V_{hv} , V_v , V_{lv} – объемы продукции по категориям «особо ценная – especially value», «высокоценная – high value», «ценная – value», «малоценная – low value» соответственно, тыс. т; Pr_{ev} , Pr_{hv} , Pr_v , Pr_{lv} – цена (price) продукции по категориям «особо ценная», «высокоценная», «ценная», «малоценная» соответственно, руб./т; V_{cp} – объемы продукции до реализации решений по повышению качества угля, тыс. т; Pr_{cp} – цена товарной продукции (средняя – average) до реализации решений по повышению качества

угля, руб./т; Ex_a – себестоимость (cost price) товарной продукции (средняя – average) до реализации решений по повышению качества угля; Ex_{ev} , Ex_{hv} , Ex_v , Ex_{lv} – дополнительные затраты (expenses) на реализацию технологических решений по повышению качества угля по категориям «особо ценная», «высокоценная», «ценная» и снижение цены в категории «малоценная» относительно средней до реализации мероприятий, руб./т; Ex_d – дополнительные затраты на реализацию технологических решений по повышению качества угля по категориям «особо ценная», «высокоценная», «ценная» и снижение цены в категории «малоценная» относительно средней до реализации мероприятий, руб./т.

Проведенное с помощью разработанной модели экономико-математическое моделирование позволило определить наиболее рациональные технологические решения для повышения качества угольной продукции в каждом процессе и опробовать их в технологии добычи угля на Восточно-Бейском угольном разрезе.

Основные этапы отработки сложноструктурного угольного месторождения открытым способом

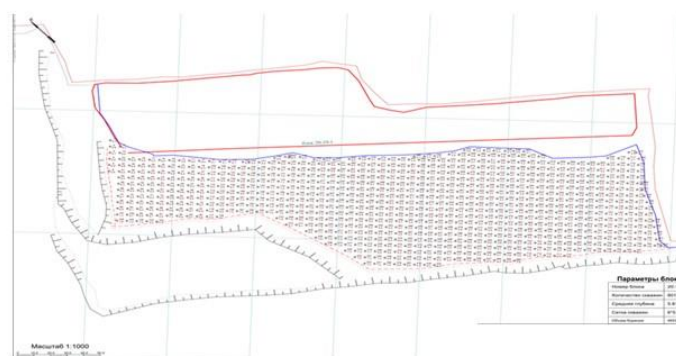
Подготовка угля к выемке. В результате проведения ряда экспериментальных взрывов были установлены рациональные сетка скважин (рис. 2, а) и конструкция заряда (рис. 2, б) для оптимального дробления угольного пласта по крупности куска с наименьшим перемешиванием породных прослоев для дальнейшей селективной выемки полезного ископаемого. После проведения взрывных работ проводится геологоразведка с использованием экскаватора РС-300. В результате геологоразведки корректируются геологические разрезы со структурной колонкой на протяжении всего участка отработываемого угольного пласта, в которых указывается мощность породных прослоев, глубина их залегания и протяженность.

Таблица 1

**Связь факторов, параметров технологических процессов и ценности продукции
(Бейское каменноугольное месторождение)**
The relationship of factors, parameters of technological processes, and the product value (Beisky coal deposit)

Процесс	Технологический фактор	Технологические параметры и решения для достижения ценности продукции			
		Особо ценная	Высокоценная	Ценная	Малоценная
Подготовка	Крупность куска – сетка скважин	Сетка скважин 4×4 до 6×6		Сетка скважин 3×3 до 6×6	
	Засорение – конструкция заряда	Рассредоточенный с учетом технологии Blast Maker	Рассредоточенный с подсыпкой 0,5 м	С подсыпкой 0,2–0,4 м	С подсыпкой менее 0,2 м
Эксплуатация	Засорение – селективная выемка	Селективная по блоку и слоям	Селективная по слоям	Валовая	
	Точность селекции – емкость ковша экскаватора	Минимально возможная		Средняя	Максимальная
	Крупность куска – емкость ковша экскаватора	Максимально возможная		Средняя	Минимальная
Транспортирование	Крупность куска – емкость кузова автосамосвала	Максимально возможная		Средняя	Минимальная
Складирование	Засорение – количество штабелей	8	5	4	3
	Гибкость – объем штабелей	Максимальный технологически возможный		Средний	Минимальный
Переработка и отгрузка	Засорение – способ обогащения	Глубокое	Породовыборка	Отсутствует	
	Измельчение – количество пересыпов	Минимально возможное		Максимальное	

а) сетка бурения



б) конструкция заряда



в) геологоразведка с использованием экскаватора РС-300

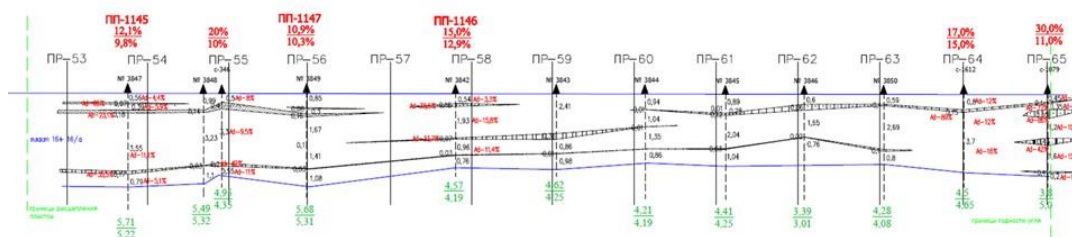


Рис. 2. Примеры технологических решений в процессе подготовки угля к выемке

Fig. 2. Examples of technological solutions in the process of preparing coal for extraction

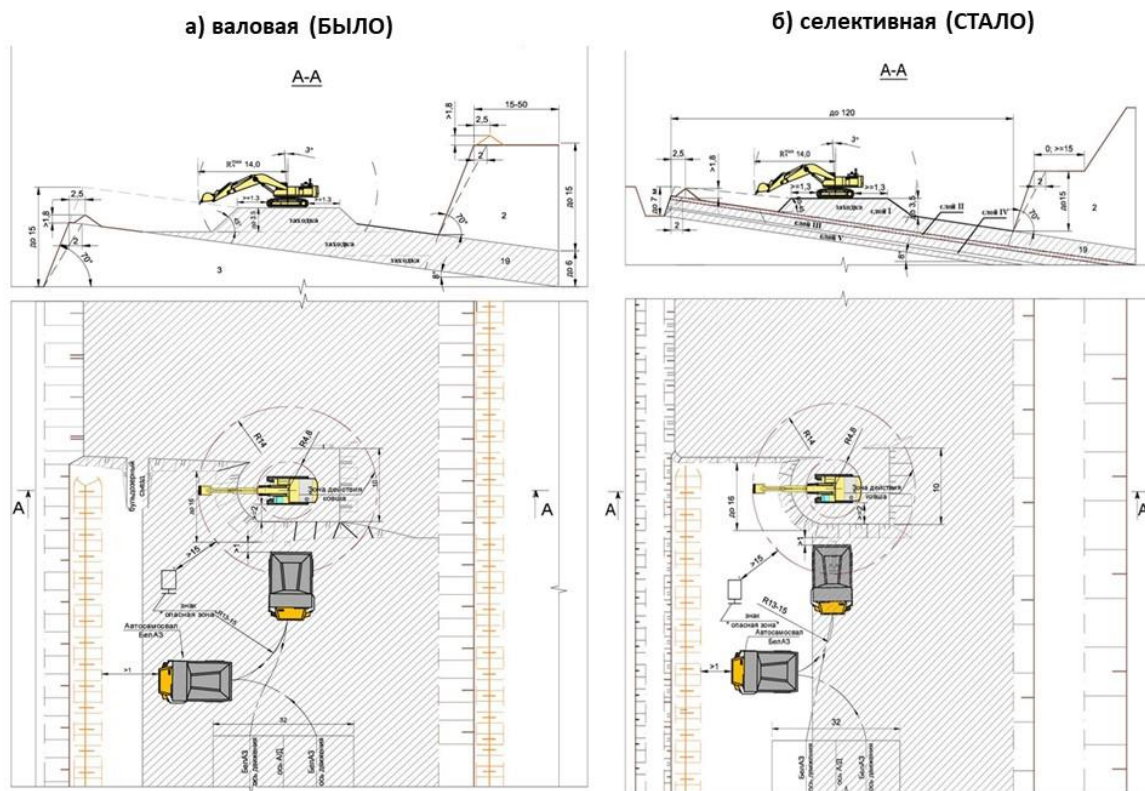


Рис. 3. Примеры технологических решений в процессе экскавации (выемки) угля
Fig. 3. Examples of technological solutions in the process of excavation (extraction) of coal



Рис. 4. Примеры технологических решений в процессе складирования угля
Fig. 4. Examples of process solutions in coal stockpiling

Выемка угля. После составления геологических разрезов разрабатывается проект селективной выемки угля (рис. 3), описывающий технологические параметры и порядок послойной выемки угля или породы. Проект разрабатывается индивидуально на каждый обрабатываемый участок (блок) угольного пласта.

Складирование угля. Повышение эффективности управления качеством в подпроцессе складирования заключается в его зонировании по теплотворной способности и включает увеличение емкости склада и количества штабелей (рис. 4).

Методика оценки качества технологического процесса

Предлагается методика оценки качества технологического процесса на предприятиях открытого способа добычи в условиях обработки сложноструктурного месторождения каменного угля, отличающаяся тем, что расчет, учет и мониторинг значений коэффициента качества технологических процессов угледобывающего предприятия (KPQ) производятся на основе оценки состояния рабочих мест и процессов по следующим формулам:

$KPQ = K_1 \cdot K_p + K_2 \cdot K_e + K_3 \cdot K_t + K_4 \cdot K_w + K_5 \cdot K_r + K_6 \cdot K_s$,
 где $K_1, K_2, K_3 \dots K_6$ – весовые коэффициенты процессов подготовки (preparation), экскавации (excavation), транспортировки (transportation), складирования (warhousing) горной массы, переработки (recast) и отгрузки (shipment) продукции соответственно; $K_p, K_e, K_t \dots K_s$ – коэффициенты качества процессов подготовки, экскавации, транспортировки, складирования горной массы, переработки и отгрузки продукции соответственно, рассчитываются по формуле:

$$PQ = N_{rat} / N_{total},$$

где N_{rat} – фактическое соблюдение рациональных технологических параметров; N_{total} – общее количество технологических параметров по стандарту процесса.

Использование разработанной методики позволяет выбрать характер воздей-

ствия на технологический процесс и меры регулирования в зависимости от полученного диапазона значений коэффициента качества технологического процесса:

– 0,00–0,50 – низкое качество технологического процесса, высокая интенсивность внешних воздействий, например нахождение в угольном забое мастера участка технического контроля, почасовой отчет горного мастера о состоянии и параметрах угольного забоя;

– 0,50–0,75 – среднее качество технологического процесса и интенсивность внешних воздействий, например разработка и реализация еженедельных и ежемесячных планов принятия дополнительных мер по повышению качества угольной продукции;

– 0,75–1,00 – высокое качество технологического процесса, низкая интенсивность внешних воздействий, направленная на поддержание и развитие полученных результатов, например обучение персонала прогрессивным методам работы.

Использование предложенного показателя оценки качества технологического процесса и его сравнение с качеством товарной продукции – соотношением ценности и себестоимости на примере работы ООО «Восточно-Бейский угольный разрез» за период январь–октябрь 2019 г. показало высокую тесноту их связи, выраженную коэффициентом детерминации, что представлено на рис. 5.

Применение разработанного методического подхода к управлению качеством товарной продукции на предприятиях открытого способа добычи, обрабатывающих сложноструктурное месторождение каменного угля, создает возможность повышения экономической эффективности их деятельности и, как следствие, конкурентоспособности. В условиях разреза Восточно-Бейский ежегодный экономический эффект от реализации разработанного методического подхода составляет около 200 млн руб.

Соотношение ценности и себестоимости продукции, отн. ед.

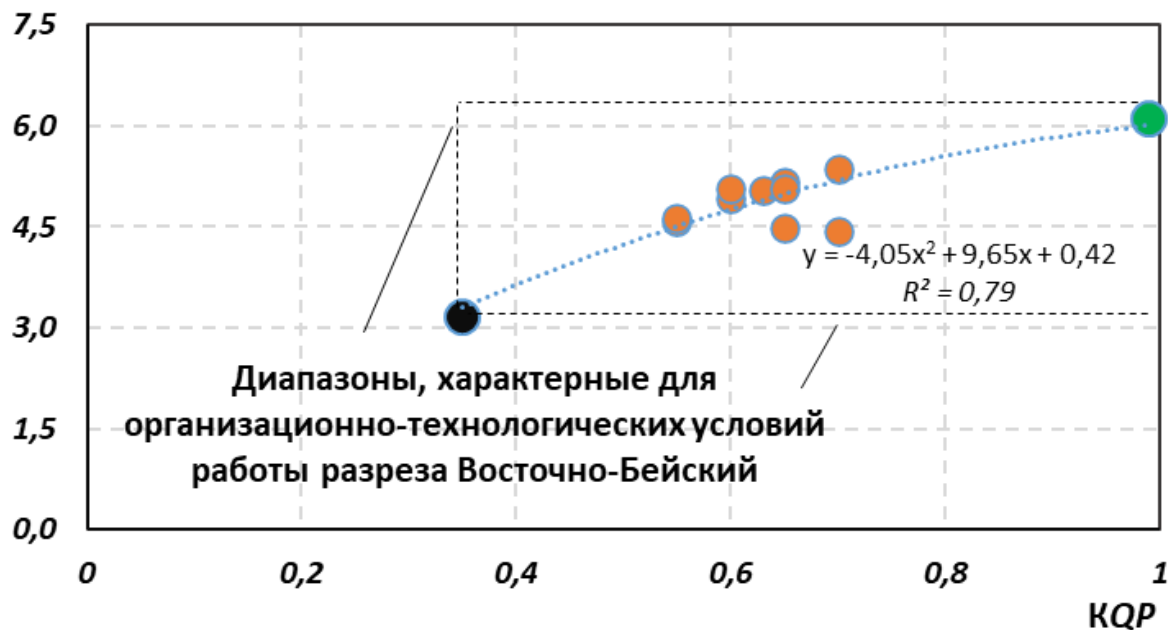


Рис. 5. Взаимосвязь качества угольной продукции и качества технологического процесса (ООО «Восточно-Бейский разрез», факт 10 месяцев 2019 г.)

Fig. 5. The relationship between the quality of coal products and the work process quality (Vostochno-Beisky Razrez LLC (East Bei open-pit coal mine), the factual data for 10 months of 2019)

Выводы

Разработанный методический подход управления качеством товарной продукции, в основе которого лежит идея дифференциации производимой продукции по категориям ценности, экономически обоснованный выбор рациональных параметров технологических процессов и освоение этих параметров позволяют

существенно повысить конкурентоспособность предприятий открытого способа добычи, обрабатывающих сложноструктурные месторождения каменного угля, путем повышения ценности продукции без использования обогащательной фабрики и снижения затрат при подготовке запасов, выемке, транспортировании, складировании и отгрузке продукции.

Библиографический список

1. Арсентьев А. И., Холодняков Г. А. *Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений*. М.: Недра; 1994. 336 с.
2. Ржевский В. В. *Открытые горные работы*. М.; 1985. 512 с.
3. Хохряков В.С. *Открытая разработка месторождений полезных ископаемых*. М.: Недра; 1982. 280 с.
4. Мельников Н.В. *Открытая разработка месторождений*. Избр. труды. М.: Наука; 1985. 280 с.
5. Трубецкой К. Н., Потапов М. Г., Винницкий К. Е. и др. *Открытые горные работы*. Справочник. М.: Горное бюро; 1994. 590 с.
6. Каплунов Д. Р. *Комплексное освоение рудных месторождений: проектирование и технология подземной разработки*. М.: ИПКОН РАН; 1998. 383 с.
7. Гавришев С. Е. *Организационно-технологические методы повышения надежности и эффективности работы карьера*. Магнитогорск: МГТУ; 2002. 217 с.
8. Rossi M. E., Deutsch C. V. *Mineral resource estimation*. Springer, Dordrecht; 2014. P. 1–332. DOI: 10.1007/978-1-4020-5717-5.
9. Goovaerts P. Geostatistics for natural resources evaluation. *Technometrics*. Oxford University Press. 1997:42.
10. Галиев С. Ж. *Оптимизация параметров горнотранспортных систем карьеров на основе имитационного моделирования*. Дис. ... д-ра техн. наук. Алматы; 1997. 391 с.

11. Trubetskoy K. N., Zharikov I. F., Shenderov A. I. Improvement of cyclical-and-continuous system design in open pit mines. *Gornyy Zhurnal*. 2015;(1):21–25.
12. Topp V., Soames L., Parham D., & Bloch H. *Productivity in the mining industry: Measurement and interpretation*. Productivity Commission, Government of Australia, Staff Working Papers; 2008.
13. White B., Seib, W., Isokangas T. Mine planning. In: R. J. Kininmonth, E. Y. Baafi (eds.). *Australasian Coal Mining Practice*. Monograph series No12. 3rd ed. Carlton, Vic: Australasian Institute of Mining and Metallurgy; 2009. P. 137–161.
14. Drebenstedt C., Ritter R., Supru, V.I., Agafonov Y.G. Cyclical-And-continuous method and in-pit crushing operation experience in the world. *Gornyy Zhurnal*. 2015;(11):81–87. DOI: 10.17580/gzh.2015.11.17.
15. Fu Z., Asad M.W.A., Topal E. A new model for open-pit production and waste-dump scheduling. *Engineering Optimization*. 2019;51(4):718–732. DOI: 10.1080/0305215X.2018.1476501.
16. Coleman L. L. *International Coal*. 1998 ed. Washington, DC: National Mining Association; 1999.
17. Ward Colin R. (ed.) *Coal Geology and Coal Technology*. Melbourne: Blackwell Scientific; 1984.
18. Mousavi A., Kozan E., Liu S. Q. Open-pit block sequencing optimization: A mathematical model and solution technique. *Engineering Optimization*. 2016;48(11):1932–1950. DOI: 10.1080/0305215X.2016.1142080.
19. Eivazy H., Askari-Nasab H. A mixed integer linear programming model for short-term open pit mine production scheduling. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*. 2012;121(2):97–108. DOI: 10.1179/1743286312Y.0000000006.
20. Галиев С. Ж. *Автоматизированное корпоративное управление геотехнологическими комплексами на открытых разработках*. Алматы; 2007. 234 с.
21. Matamoros M. E. V., Dimitrakopoulos R. Stochastic short-term mine production schedule accounting for fleet allocation, operational considerations and blending restrictions. *European Journal of Operational Research*. 2016;255(3):911–921. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.05.050.
22. Katen K. P. Modern Mining Methods – Longwall, Shortwall. *Elements of Practical Coal Mining*. 2nd ed. Crickmer D. F., Zegeer D. A. (eds.) New York: Society of Mining Engineers, American Institute of Mining and Metallurgy; 1982.
23. Яковлев В. Л., Азев В. А., Макаров А. М. *Внутрипроизводственное планирование в условиях инновационного развития угледобывающего предприятия*. Челябинск: АБРИС; 2019. 164 с.
24. Boland N., Dumitrescu I., Froyland G., Gleixner A. M. LP-based disaggregation approaches to solving the open pit mining production scheduling problem with block processing selectivity. *Computers and Operations Research*. 2009;36(4):1064–1089. DOI: 10.1016/j.cor.2007.12.006.
25. Галкин В. А. *Технологические основы проектирования и планирования грузопотоков на рудных карьерах с автомобильным транспортом*. Дис. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск; 1987. 290 с.
26. Истомин В. В. О методологических принципах открытых горных работ. *Научные проблемы горного производства*. М.: Изд-во МГГУ; 2000.
27. Shishvan M.S., Sattarvand J. Long term production planning of open pit mines by ant colony optimization. *European Journal of Operational Research*. 2015;240(3):825–836. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.07.040.
28. Budeba M. D., Joubert J. W., Webber-Youngman R., Shafiee S. Predicting the efficiency of a surface coal mine for competitiveness. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2017;31(3):187–204. DOI: 10.1080/17480930.2015.1135669.
29. Abdel Sabour S.A., Dimitrakopoulos R. Incorporating geological and market uncertainties and operational flexibility into open pit mine design. *Journal of Mining Science*. 2011;47(2):191–201. DOI: 10.1134/S1062739147020067.
30. Соколовский А. В. *Методология проектирования технологического развития действующих карьеров*. Дис. ... д-ра техн. наук. Челябинск; 2009. 276 с.
31. Шешко Е. Ф. *Разработка полезных ископаемых открытым способом*. М.: Углетехиздат; 1949. 347 с.
32. Щадов М. И., Виницкий К. Е., Шаль Р. Р. *Опыт совершенствования технологии и управления качеством угля в ПО «Экибастузуголь»*. Обзор. ЦНИЭИуголь. М.; 1985.
33. Chatterje S., Sethi M.R., Asad M.W.A. Production phase and ultimate pit limit design under commodity price uncertainty. *European Journal of Operational Research*. 2016;248(2):658–667. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.07.012.
34. Артемьев В. Б. *Технологические и организационные механизмы эффективного функционирования угольной компании при комплексном освоении месторождений*. Дис. ... д-ра техн. наук. М.; 2004. 259 с.
35. Коваленко В. С., Артемьев В. Б., Опанасенко П. И., Исайченков А. Б. *Технологические схемы проведения капитальных и разрезных траншей на угольных разрезах*. М.; 2011. 408 с.
36. Виницкий К. Е., Шаль Р. Р. *Управление качеством угля на разрезах ПО «Экибастузуголь»*. Обзор. ЦНИЭИуголь. М.; 1981.

References

1. Arsenyev A.I., Kholodnyakov G.A. *Designing open pit mining*. Moscow: Nedra Publ.; 1994. 336 p. (In Russ.).
2. Rzhovsky B.B. *Open pit mining*. Moscow; 1985. 512 p. (In Russ.).
3. Khokhryakov V.S. *Open pit mining*. Moscow: Nedra Publ.; 1982. 280 p. (In Russ.).
4. Melnikov N.V. *Open pit mining*. Selecta. Moscow: Nauka Publ.; 1985. 280 p. (In Russ.).
5. Trubetskoy K.N., Potapov M.G., Vinnitsky K.E., et al. *Open pit mining*. Reference book. Moscow: Bureau of Mines Publ.; 1994. 590 p. (In Russ.).
6. Kaplunov D. R. *Integrated development of ore deposits: design and methods of underground mining*. Moscow: IPKON RAS Publ.; 1998. 383 p. (In Russ.).
7. Gavrishchev, S.E. *Organizational and technological methods for improving reliability and efficiency of an open pit operation*. Magnitogorsk: MSTU Publ.; 2002. 217 p. (In Russ.).
8. Rossi M. E., Deutsch C. V. *Mineral resource estimation*. Springer, Dordrecht; 2014. P. 1–332. DOI: 10.1007/978-1-4020-5717-5.
9. Goovaerts P. *Geostatistics for natural resources evaluation*. *Technometrics*. Oxford University Press. 1997;42.
10. Galiev S.Zh. *Optimization of open pit mining-transport system parameters using simulation technique*. Doctoral thesis in Engineering Science. Almaty; 1997. 391 p. (In Russ.).
11. Trubetskoy K.N., Zharikov I.F., Shenderov A.I. Improvement of cyclical-and-continuous system design in open pit mines. *Gornyi Zhurnal*. 2015;(1):21–25. (In Russ.).
12. Topp V., Soames L., Parham D., & Bloch H. *Productivity in the mining industry: Measurement and interpretation*. Productivity Commission, Government of Australia, Staff Working Papers; 2008.
13. White B., Seib, W., Isokangas T. Mine planning. In: R. J. Kininmonth, E. Y. Baafi (eds). *Australasian Coal Mining Practice*. Monograph series No12. 3rd ed. Carlton, Vic: Australasian Institute of Mining and Metallurgy; 2009. P. 137–161.
14. Drebenstedt C., Ritter R., Supru, V.I., Agafonov Y.G. Cyclical-And-continuous method and in-pit crushing operation experience in the world. *Gornyi Zhurnal*. 2015;(11):81–87. DOI: 10.17580/gzh.2015.11.17.
15. Fu Z., Asad M.W.A., Topal E. A new model for open-pit production and waste-dump scheduling. *Engineering Optimization*. 2019;51(4):718–732. DOI: 10.1080/0305215X.2018.1476501.
16. Coleman L. L. *International Coal*. 1998 ed. Washington, DC: National Mining Association; 1999.
17. Ward Colin R. (ed.) *Coal Geology and Coal Technology*. Melbourne: Blackwell Scientific; 1984.
18. Mousavi A., Kozan E., Liu S. Q. Open-pit block sequencing optimization: A mathematical model and solution technique. *Engineering Optimization*. 2016;48(11):1932–1950. DOI: 10.1080/0305215X.2016.1142080.
19. Eivazy H., Askari-Nasab H. A mixed integer linear programming model for short-term open pit mine production scheduling. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*. 2012;121(2):97–108. DOI: 10.1179/1743286312Y.0000000006.
20. Galiev S. Zh. *Automated corporate management of geotechnological complexes in open-pit mining*. Almaty; 2007. 234 p. (In Russ.).
21. Matamoros M. E. V., Dimitrakopoulos R. Stochastic short-term mine production schedule accounting for fleet allocation, operational considerations and blending restrictions. *European Journal of Operational Research*. 2016;255(3):911–921. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.05.050.
22. Katen K. P. Modern Mining Methods – Longwall, Shortwall. *Elements of Practical Coal Mining*. 2nd ed. Crickmer D. F., Zegeer D. A. (eds.) New York: Society of Mining Engineers, American Institute of Mining and Metallurgy; 1982.
23. Yakovlev V. L., Azev V. A., Makarov A.M. *Intra-production planning in the conditions of innovative development of a coal mining enterprise*. Chelyabinsk: ABRIS Publ., 2019. 16 p. (In Russ.).
24. Boland N., Dumitrescu I., Froyland G., Gleixner A. M. LP-based disaggregation approaches to solving the open pit mining production scheduling problem with block processing selectivity. *Computers and Operations Research*. 2009;36(4):1064–1089. DOI: 10.1016/j.cor.2007.12.006.
25. Galkin V.A. *Technological basis for design and planning of freight traffic at open pits using motor transport*. Doctoral thesis in Engineering Science. Magnitogorsk; 1987. 290 p. (In Russ.).
26. Istomin V. V. About methodological principles of open pit mining. *Scientific problems of mining*. Moscow: MGGU Publishing House; 2000. (In Russ.).
27. Shishvan M.S., Sattarvand J. Long term production planning of open pit mines by ant colony optimization. *European Journal of Operational Research*. 2015;240(3):825–836. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.07.040.
28. Budeba M. D., Joubert J. W., Webber-Youngman R., Shafiee S. Predicting the efficiency of a surface coal mine for competitiveness. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2017;31(3):187–204. DOI: 10.1080/17480930.2015.1135669.

29. Abdel Sabour S. A., Dimitrakopoulos R. Incorporating geological and market uncertainties and operational flexibility into open pit mine design. *Journal of Mining Science*. 2011;47(2):191–201. DOI: 10.1134/S1062739147020067.
30. Sokolovsky A. V. Methodology for designing technological development of operating open pits. Doctoral thesis in Engineering Science. Chelyabinsk; 2009. 276 p. (in Russian).
31. Sheshko E. F. *Open-pit mining of minerals*. Moscow: Ugletekhizdat Publ.; 1949. 347 p. (In Russ.).
32. Shchadov M. I., Vinitsky K. E., Shal' P. P. *Improving technological solutions and coal quality management in the Ekibastuzugol Production Concern*. Overview. TsNIEIugol, Moscow; 1985. (In Russ.).
33. Chatterje S., Sethi M.R., Asad M.W.A. Production phase and ultimate pit limit design under commodity price uncertainty. *European Journal of Operational Research*. 2016;248(2):658–667. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.07.012.
34. Artemyev V. B. *Technological and organizational mechanisms for effective functioning of a coal company in the course of integrated development of deposits*. Doctoral thesis in Engineering Science. M., 2004, 259 p. (in Russian).
35. Kovalenko V. S., Artemyev V. B., Opanasenko P. I., Isaichenkov A. B. *Technological schemes for excavation of permanent and working trenches at coal mines*. Moscow; 2011. 408 p. (In Russ.).
36. Vinitsky K. E., Shal' P. P. *Coal quality management at opencast mines of Ekibastuzugol'*. Overview. TsNIEIugol, Moscow; 1981. (In Russ.).