

На правах рукописи



ПОПОВ ДЕНИС ВЛАДИМИРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗРАБОТКИ
ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С НЕВЫДЕРЖАННЫМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЗАЛЕГАНИЯ И КАЧЕСТВА УГЛЯ**

Специальность 25.00.22 –
Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Магнитогорск – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Научный руководитель **Азев Владимир Александрович,**
доктор технических наук

Официальные оппоненты: **Корнилов Сергей Викторович,**
доктор технических наук профессор,
главный научный сотрудник ФГБУН «Институт
горного дела Уральского отделения Российской
академии наук» г. Екатеринбург

Селюков Алексей Владимирович,
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой открытых горных работ
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный
технический университет имени Т.Ф.
Горбачева», г. Кемерово

Ведущая организация: ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр
Сибирского отделения Российской академии
наук» Институт горного дела Севера им. Н.В.
Черского Сибирского отделения Российской
академии наук, г. Якутск

Защита диссертации состоится «14» января 2021 г. в 15-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.111.02 на базе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38, аудитория 231.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и на сайте ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»: <http://www.magtu.ru>.

Автореферат разослан «_____» _____ 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук



С.Н. Корнилов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Научно-технический прогресс и истощение «богатых» месторождений полезных ископаемых предполагают освоение новых, более сложных и менее ценных. Так, например, в угольной отрасли доля продукции, произведенной на пластовых месторождениях с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля, расположенными в таких регионах, как республика Хакасия (Бейский угольный кластер – Восточно-Бейский, Кирбинский, Майрыхский разрезы и т.д.) и республика Бурятия (Никольский разрез), Иркутская область (Иркутский угольный бассейн), Хабаровский край (Буреинский угольный бассейн), по прогнозу к 2030 году вырастет в 3 раза и составит не менее 15%.

Угольная промышленность РФ на сегодняшний день является экспортно-ориентированной, поскольку около 50% производимой продукции продается зарубежным потребителям. В этой связи в последние годы все колебания мирового рынка энергоносителей существенно отражаются на российских производителях энергетического угля. В течение 2019 г. цена на угольную продукцию снизились в 1,5-2,0 раза, а рост стоимости материально-технических и энергетических ресурсов, тарифов перевозчиков составил 5-15%.

Для повышения экономической эффективности российским предприятиям необходимо гибко подходить к объему производства и качеству угольной продукции, а также снижать затраты на добычу. Принимаемые технологические решения, с неизменными параметрами разработки угольных месторождений в течение периода эксплуатации, направленные в основном на высокопроизводительную работу оборудования, зачастую не обеспечивают качество продукции, соответствующее современному рынку и потребностям горного предприятия. Это усложняет процесс управления качеством продукции, особенно для месторождений со сложными условиями залегания и невыдержанным качеством угля, где максимальная теплота сгорания полезного ископаемого может отличаться от минимальной в 1,5 раза в пределах одного разреза. Отсутствие научно-методического обеспечения выбора технологии открытой разработки месторождений каменного угля с невыдержанными характеристиками залегания пластов и качества не позволяет в необходимой мере управлять качеством продукции угледобывающих предприятий. Поэтому задача разработки технологических решений и обоснования их параметров для отработки пластовых месторождений с невыдержанными характеристиками залегания пластов и качества углей с целью повышения экономической эффективности деятельности угольных разрезов обретает особую актуальность.

Цель работы – разработка технологических решений и обоснование их параметров для отработки месторождений каменного угля с невыдержанными характеристиками залегания пластов и качества углей для повышения экономической эффективности деятельности угольных разрезов.

Идея работы – повышение экономической эффективности деятельности угольного разреза, разрабатывающего месторождение с невыдержанными характеристиками залегания пластов и качества углей, достигается разделением фронта горных работ на блоки с оценкой качества угля в них по предложенному показателю приведенной теплоты его сгорания, выбором направления и порядка развития горных работ, обоснованием рациональных параметров основных технологических

процессов при отработке каждого блока, обеспечивающих получение продукции требуемого качества по критерию максимума товарной стоимости при минимальных потерях угля в недрах.

Объект исследования – технология открытой разработки месторождения каменного угля с невыдержанными характеристиками залегания пластов и качества.

Предмет исследования – параметры основных технологических процессов добычи каменного угля открытым способом на пластовых месторождениях с невыдержанными характеристиками залегания пластов и качества угля.

Основные задачи исследования:

- анализ теории и практики обеспечения требуемого качества продукции угледобывающего предприятия при отработке месторождения каменного угля с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля;
- выявление параметров качества технологических процессов на разрезах, влияющих на товарную ценность продукции угледобывающего предприятия;
- определение технологических параметров разработки угольного месторождения, обеспечивающих заданное качество продукции угледобывающего предприятия;
- разработка экономико-математической модели оценки целесообразности применения новых технологических решений, обеспечивающих повышение качества продукции;
- разработка и апробация методики оценки качества технологических процессов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Для эффективного освоения месторождений каменного угля с невыдержанными характеристиками залегания пластов и качества углей, характеризующихся изменениями низшей теплоты сгорания в среднем в 1,5 раза, глубины залегания пластов до 4 раз и мощности угольных пластов до 10 раз в пределах характерного профиля, необходимо разделение фронта горных работ на блоки, отличающиеся величиной приведенной теплоты сгорания угля, учитывающей зольность, влажность и размер получаемого куска, не более чем на 200 ккал/кг, а также определение порядка и технологии их отработки с учетом обеспечения планового объема товарной продукции с качеством, максимально соответствующим потребностям рынка.

2. Обеспечение требуемой приведенной теплоты сгорания угля при отработке выделенных блоков достигается добавлением процесса породовыборки и регулированием параметров основных технологических процессов для каждого блока, включая: увеличение высоты подсыпки скважин при подготовке пород к выемке в диапазоне от 0,1 до 0,6 м и количества штабелей угля от 3 до 10; снижение мощности минимального селективно отрабатываемого при выемочно-погрузочных работах слоя с 8,0 до 0,4 м и количества пересыпов угля в процессе транспортирования с 5 до 1.

3. Изменения технологических решений и определение рациональных параметров основных технологических процессов открытых горных работ для достижения требуемой приведенной теплоты сгорания товарных фракций

осуществляются с использованием разработанного алгоритма управления качеством продукции предприятия в условиях отработки пластового месторождения с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля, включающем этапы: оценки внешних и внутренних факторов функционирования угольного разреза; определения товарной стоимости угля для различных категорий угля по приведенной теплоте сгорания и, соответственно, ценности продукции; районирования фронта горных работ по показателю приведенной теплоты его сгорания; оценки технологических решений с использованием экономико-математической модели; выбора и реализации технологических решений, обеспечивающих повышение эффективности деятельности угледобывающего предприятия.

Научная новизна работы:

1. Зависимости качественных характеристик извлекаемого угля от параметров основных технологических процессов на разрезе: потерь угля в кровле угольного пласта от высоты подсыпки скважины надугольного вскрышного уступа в процессе подготовки пород к выемке; минимальной мощности разрабатываемого пласта угля в забое и удельных затрат на экскавацию от емкости ковша экскаватора при добыче; доли мелочи в угольной продукции от количества пересыпов в процессах перемещения и складирования; теплоты сгорания угольной продукции, достигаемой в результате породовыборки, от крупности горной массы, поступившей в переработку, позволяющие выбирать рациональные параметры технологических процессов.

2. Показатель приведенной теплоты сгорания угля и зависимость приведенной теплоты сгорания угля от комплексного показателя оценки технологических процессов угольного разреза, использование которых в процессе управления качеством полезного ископаемого на пластовом угольном месторождении с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля позволяет прогнозировать потребительские свойства товарной продукции на основе корректировки технологических параметров разработки месторождения.

3. Экономико-математическая модель изменения товарной стоимости продукции угольного разреза при реализации технологических решений по повышению качества угля, применение которой позволяет повышать экономическую эффективность деятельности угольного разреза.

Личный вклад автора состоит в постановке задач исследования, обосновании параметров технологических процессов для обеспечения требуемого качества продукции, разработке методики оценки качества технологических процессов в условиях отработки сложноструктурного месторождения каменного угля, установлении зависимости качества продукции от качества технологических процессов угледобывающего предприятия.

Практическая значимость работы состоит в разработке методических положений и рекомендаций, реализация которых обеспечивает повышение качества продукции угольных разрезов, разрабатывающих месторождение с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля, и достижение заданного уровня эффективности.

Методы исследования. В процессе исследований использованы методы системного и статистического анализа, экспертных оценок, экономико-

математического моделирования, производственного эксперимента, натуральных наблюдений, а также обобщение опыта проектирования и эксплуатации отечественных и зарубежных угольных разрезов.

Достоверность положений, научных выводов и рекомендаций подтверждается надежностью и представительностью исходных данных, представительным объемом экспериментальных исследований и обработкой результатов методами математической статистики, проверкой рекомендаций в промышленных условиях.

Реализация результатов исследования. Разработанная методика обеспечения требуемого качества продукции угледобывающего предприятия в условиях отработки сложноструктурного месторождения каменного угля используется при планировании развития горных работ и в производственной деятельности ООО «СУЭК-Хакасия» и ООО «Восточно-Бейский разрез».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы рассмотрены и одобрены на международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (г. Москва, 2015-2019 гг.), международных научно-практических конференциях «Открытые горные работы в XXI веке» (г. Красноярск, 2015 г., 2017 г.), на научно-методических семинарах НИИОГР (г. Челябинск, 2018-2020 гг.) и ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» (г. Магнитогорск, 2019-2020 гг.), на совещаниях в АО «СУЭК», ООО «СУЭК-Хакасия».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ, в том числе 5 в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, из них 1 - в изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, 4 – в прочих изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, 51 рисунок, 15 таблиц, изложена на 154 страницах машинописного текста, список использованных источников содержит 133 наименований.

Во введении представлена и обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель, идея, объект, предмет и задачи исследования.

В первой главе проанализированы научно-методическая база, современные тенденции и опыт повышения эффективности угледобывающих предприятий, разрабатывающих пластовые месторождения с невыдержанными характеристиками залегания и качества углей

Во второй главе содержатся результаты исследования влияния параметров технологических процессов на качество угля для угольных разрезов, разрабатывающих пластовые месторождения с невыдержанными характеристиками залегания и качества, при реализации стратегии повышения товарной стоимости продукции.

В третьей главе представлены критерии, показатели и методика оценки качества технологических процессов, а также экономико-математическая модель обеспечения качества производимой продукции.

В четвертой главе представлены результаты применения разработанной методики в ООО «СУЭК-Хакасия» и ООО «Восточно-Бейский разрез», проведена оценка экономической эффективности реализованных решений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Проектирование и последующее развитие горных работ для обеспечения требуемых объемов и качества продукции горнодобывающих предприятий, отрабатывающих различные типы месторождений, угольных разрезов, отрабатывающих различные типы месторождений, осуществляются в настоящее время по методикам, которые разрабатывались и развивались академиками Н.В. Мельниковым, Н.Н. Мельниковым, В.В. Ржевским, К.Н. Трубецким, членами-корреспондентами РАН Д.Р. Каплуновым, В.Л. Яковлевым, профессорами Ю.И. Анистратовым, А.И. Арсентьевым, С.Е. Гавришевым, В.А. Галкиным, В.В. Истоминым, С.В. Корнилковым, В.А. Пикаловым, М.В. Рыльниковой, А.В. Соколовским, Г.Г. Саканцевым, М.Г. Саканцевым, П.И., Томаковым, Г.А. Холодняковым, В.С. Хохряковым и другими учеными.

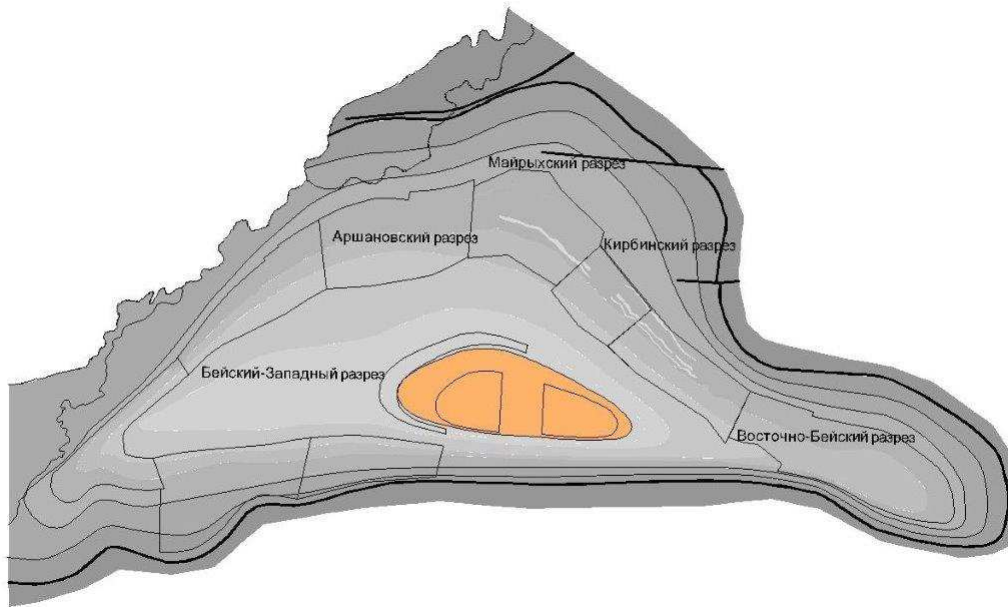
Особенностям разработки пластовых месторождений с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля посвящены труды таких научных коллективов как ИПКОН РАН, ИГД УрО РАН, Якутский НЦ СО РАН, МИСиС, СПГУ, КузГТУ, специалистов и ученых, в числе которых В.Б. Артемьев, Б.Н. Байков, Н.В. Гончарова, В.А. Ермолаев, А.С. Ненашев, В.Ф. Колесников, В.В. Мельник, А.К. Порцевский, В.Г. Проноза, А.В. Селюков, А.Г. Самойленко, В.П. Смирнов, Д.С. Снетков, С.М. Ткач, В.С. Федотенко, Е.А. Хоютанов, А.Ю. Чебан, В.М. Щадов, Б.П. Юматов и др.

Вопросам обеспечения качества продукции горнодобывающих производств посвящены труды таких ученых, как П.П. Бастан, С.Б. Васильев, Л.С. Винницкий, В.М. Гаврилов, А.В. Гальянов, В.Д. Кантемиров, Ю.В. Лаптев, Г.Г. Ломоносов, Т.В. Москаленко, Ю.М. Овешников и др.

Сформирована научно-методическая база проектирования карьеров и планирования открытых горных работ, определения производственной мощности карьеров, обоснования последовательности разработки месторождений и технологических решений для эффективного ведения горных работ в различных горно-геологических условиях, которые достаточно широко отражают вопрос повышения качества продукции горнодобывающих предприятий. Отработка пластовых месторождений с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля имеет свои технологические особенности. Поэтому сложившиеся методы обеспечения требуемого качества продукции нуждаются в уточнении, а применяемые на предприятиях технологические решения по ведению горных работ – в адаптации под горнотехнические условия таких месторождений.

Месторождения с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля характеризуются наличием нескольких угольных пластов и пропластков с изменчивой мощностью, существенными отличиями качественных характеристик полезного ископаемого, а также сложной морфологией. Такие месторождения часто относят к разряду сложноструктурных. Типичным представителем таких месторождений является Бейское каменноугольное месторождение, расположенное в республике Хакасия (рис. 1).

a)



б)

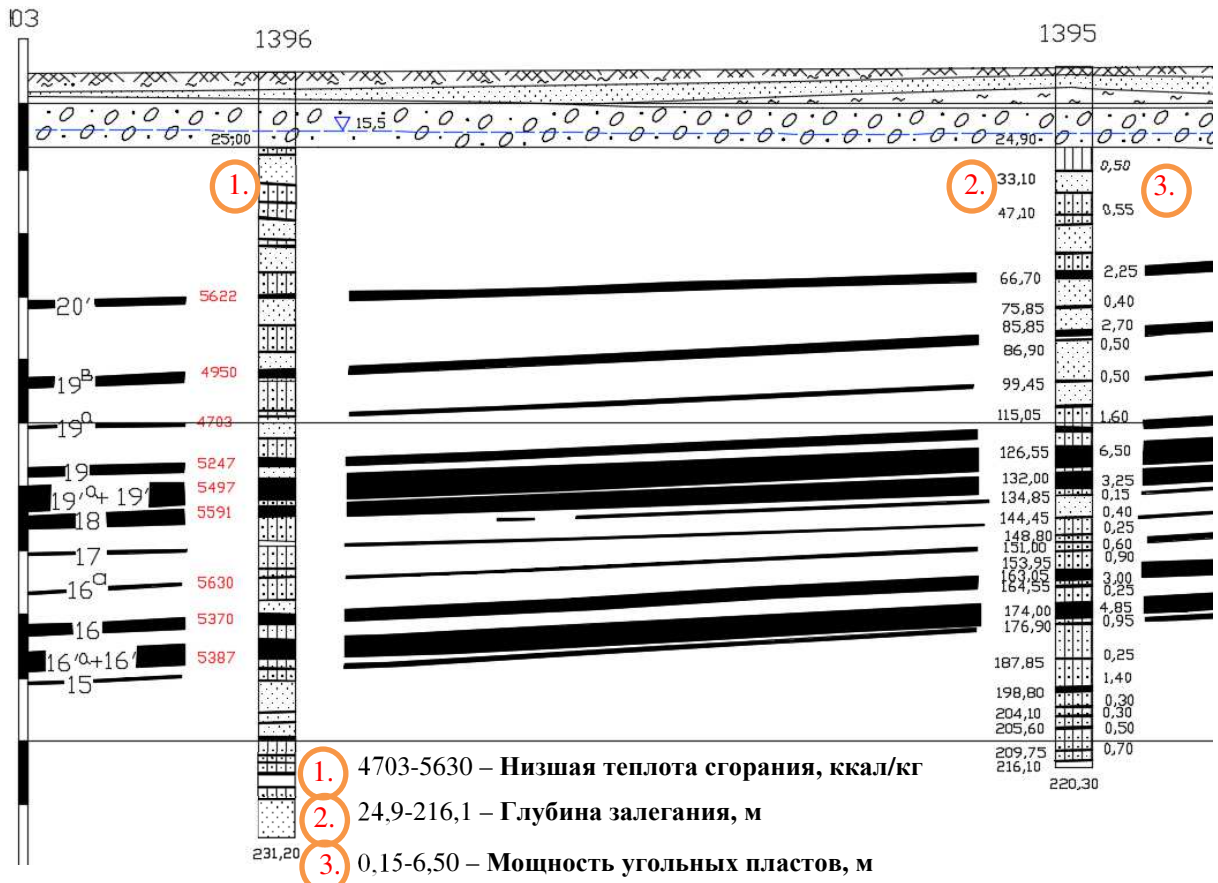


Рис. 1 План (а) и характерный геологический разрез (б) Бейского каменноугольного месторождения

Требования, предъявляемые к выбору последовательности отработки и параметрам основных технологических процессов при разработке пластовых месторождений с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля, должны учитывать особенности разрабатываемого месторождения, обеспечивать сохранность качества угля при производстве вскрышных и добычных работ и

экономическую эффективность функционирования угольного разреза.

Проведенный анализ ценообразования на рынке энергетического угля показал, что цена продукции угольных разрезов определяется ее качеством, выраженным низшей теплотой сгорания, при соблюдении допустимого объема примесей в составе. В зависимости от качества угольной продукции и состояния рынка энергетических углей, стоимость 1 т произведенной на предприятии продукции может отличаться в 2-3 раза, что существенно отражается на экономических показателях деятельности предприятия – его рентабельности, инвестиционной и социальной привлекательности и, соответственно, его позиции на рынке. При фактическом уровне цен на энергетический уголь определенного качества и средней себестоимости добычи угля, все предприятия Бейского месторождения находятся в области низкой рентабельности. При дальнейшем росте тарифов, цен на услуги, материалы и, соответственно, себестоимости, либо снижении цены продукции на мировых рынках, эффективность предприятий будет снижаться.

Качество полезного ископаемого на пластовых месторождениях с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля изменяется как по длине фронта работ, так и в пределах отдельного геологического профиля. В таких условиях, для обеспечения требуемого качества товарной продукции угольного разреза, необходимо районирование месторождения по качественным характеристикам, выделение отдельных блоков, выбор последовательности, технологии и параметров их отработки.

Критерием разделения фронта горных работ на отдельные блоки, выбора последовательности их отработки и обоснования параметров технологических процессов при отработке каждого блока должен являться показатель, учитывающий основные качественные характеристики угля, влияющие на его товарную стоимость – теплоту сгорания, влажность и зольность. Автором предложен такой показатель – приведенная теплота сгорания угля.

В результате обработки статистическими методами данных о влажности, зольности и теплоте сгорания угля различных обрабатываемых блоков, установлена корреляционная зависимость теплоты сгорания от зольности и влажности добываемого угля ($R=0,95$) в условиях Бейского месторождения, представленная на рис. 2.

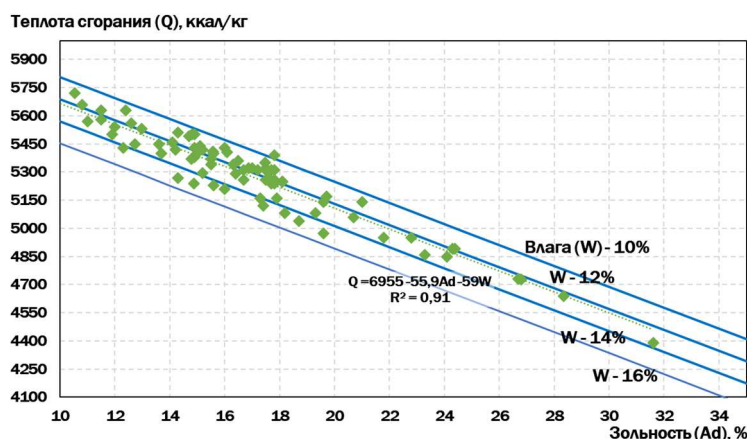


Рис. 2 Зависимость теплоты сгорания угольной продукции от зольности и влажности для условий Бейского угольного месторождения (2019 г, 82 угольных блока)

Для повышения точности прогноза качества продукции автором предложено дополнить полученное статистическое выражение параметром крупности куска добываемого угля, поскольку этот параметр оказывает существенное влияние на эффективность обогащения.

Расчет приведенной теплоты сгорания товарной продукции, учитывающей наряду с изменением зольности и влажности, также изменение крупности куска, для условий Бейского каменноугольного месторождения – типичного представителя месторождений с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля, целесообразно производить по формуле:

$$Q_c^{\text{прив}} = 6955 - 55,9A^d - 59W + 2,24K, \quad (1)$$

где: A^d – зольность добываемого угля, %; W – влажность (рабочая), %; K – доля крупного куска (размером не менее 50 мм), %.

Предложенная формула может быть применена при следующих условиях: $10\% \leq A^d \leq 32\%$; $9\% \leq W \leq 16\%$; $40\% \leq K \leq 75\%$.

Пример разделения фронта горных работ на отдельные блоки по величине показателя приведенной теплоты сгорания представлен на рис. 3.

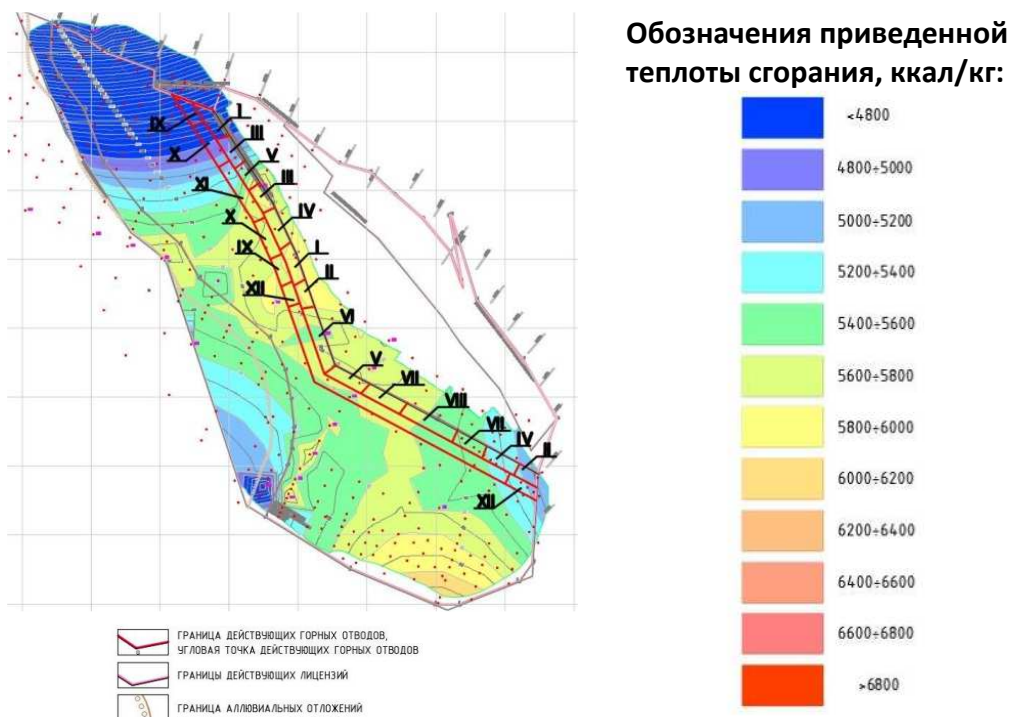


Рис. 3 Разделение фронта горных работ на блоки по показателю приведенной теплоты сгорания для условий Бейского угольного месторождения: I – XII – блоки, запланированные к отработке по месяцам

Эмпирическим путем установлено, что при существующей технологии опробования, точности измерительных приборов и ценовых параметров рынка угля необходимо разделение фронта горных работ на блоки, отличающиеся друг от друга величиной приведенной теплоты сгорания угля, не более чем на 200 ккал/кг.

Технологические решения и параметры, принимаемые при отработке пластового месторождения с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля, существенно влияют на приведенную теплоту сгорания добытого угля, от

которой зависит его товарная стоимость. Для условий Бейского месторождения особо ценной угольной продукцией является товарная продукция с приведенной теплотой сгорания угля более 5600 ккал/кг; высокоценной – 5500-5600 ккал/кг; ценной 5100-5500 ккал/кг; малоценной – менее 5100 ккал/кг.

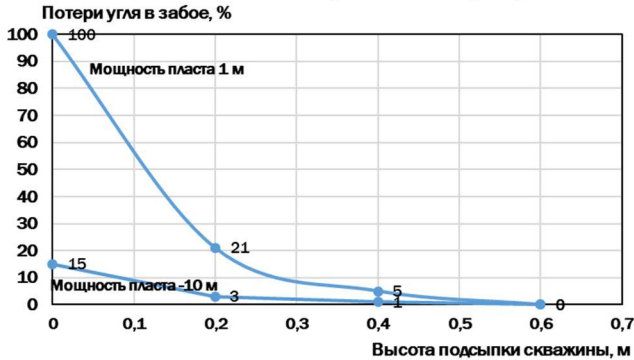
При разделении фронта горных работ на блоки необходимо учитывать, что усредненное качество добываемого угля, при одновременной отработке нескольких блоков, должно соответствовать текущей потребности рынка. Для этого рекомендуется производить предварительный отбор проб угля, определять его качество, районирование вовлекаемой в отработку площади и разделение фронта горных работ на блоки по величине приведенной теплоты сгорания. В соответствии с существующими возможностями и точностью лабораторных испытаний качественных характеристик угля, приведенная теплота сгорания угля отдельных блоков отличается не более чем на 200 ккал/кг. Параметры выделяемых блоков определяются рабочими характеристиками применяемого оборудования, а также принятыми параметрами основных технологических процессов открытых горных работ. Ширина блока принимается кратной ширине заходки экскаватора, длина блока определяется необходимостью обеспечения работы экскаваторов по взорванной горной массе на установленный нормативный период и корректируется с учетом длины фронта работ на разрабатываемом горизонте.

Качественные характеристики угля в пределах каждого отрабатываемого блока изменяются в зависимости от параметров выполнения основных технологических процессов добычи и переработки. При несоответствии параметров технологических процессов условиям выделенного блока, качество угля на стадии любого технологического процесса может быть снижено до значений, при которых данный вид продукции не востребован на рынке. Формирование требуемого качества продукции предприятия в условиях отработки пластового месторождения с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля достигается при последовательном выполнении технологических процессов с требуемыми параметрами, включая: подготовку угля к выемке, выемочно-погрузочные работы, транспортирование, складирование и переработку. Для условий Восточно-Бейского угольного разреза было определено, что повышение качества угля при выполнении технологических процессов может быть обеспечено: при производстве буровзрывных работ – исключением перемешивания различных сортов угля и засорения вскрышными породами; достижением требуемой крупности угля за счет применения рассредоточенной конструкции заряда на добычных уступах и подсыпкой забоя скважины на вскрышных уступах, расположенных над пластами угля; при выемочно-погрузочных работах – селективной выемкой угля различного качества и вскрышных пород в процессе экскавации, что достигается подбором вместимости ковша экскаватора; при транспортировании – сокращением переизмельчения угля при частых перегрузках и увеличением вместимости кузова карьерного автосамосвала; при складировании – увеличением количества штабелей с различным качеством угля в результате изменения параметров каждого штабеля и отведением дополнительных площадей для их размещения; при переработке – выбором способа обогащения в зависимости от конечного получаемого качества угля на разрезе и требований рынка.

В результате изменения параметров технологических процессов на разрезе изменяются свойства и вещественный состав угля: крупность куска и засорение угля, что влияет на конечное качество и объемы продукции, на ее товарную стоимость.

Для обоснования выбора наиболее рациональных решений автором установлены эмпирические зависимости потерь угля, мощности минимального разрабатываемого слоя, прироста мелочи в угольной продукции и прироста теплоты сгорания от параметров технологических процессов (рис. 4 и 5).

а) зависимость потерь угля в кровле угольного пласта от высоты подсыпки скважины надугольного вскрышного уступа



б) зависимость мощности минимального добываемого слоя и удельных затрат на экскавацию от емкости ковша экскаватора

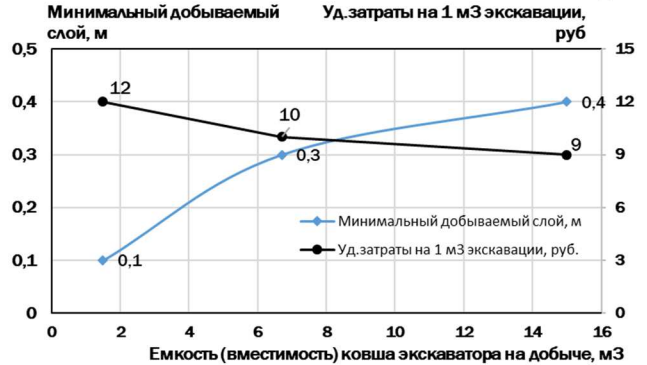
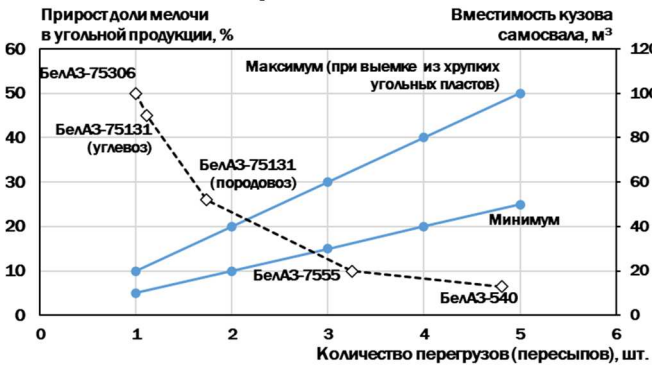


Рис. 4 Эмпирические зависимости качественных характеристик угля от параметров процессов подготовки пород к выемке и выемочно-погрузочных работ в условиях отработки Бейского месторождения

а) зависимость прироста мелочи в угольной продукции от количества перегрузов (пересыпов) в технологическом процессе и вместимости кузова автосамосвалов



б) зависимость прироста теплоты сгорания угольной продукции в результате породовыборки по крупности горной массы, поступившей в переработку

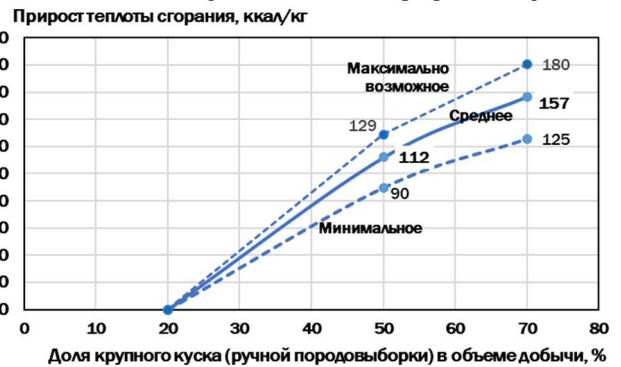


Рис. 5 Эмпирические зависимости качественных характеристик угля от параметров процессов транспортирования, переработки и отгрузки в условиях отработки Бейского месторождения

Для оценки влияния представленных в табл. 1 параметров технологических процессов и технологических решений, по фактическим данным 2019 г. построена зависимость товарной стоимости продукции угольного разреза и себестоимости добычи угля от приведенной теплоты сгорания, представленная на рис. 6.

Таблица 1 – Параметры основных технологических процессов для обеспечения определенной ценности и товарной стоимости продукции (Бейское каменноугольное месторождение)

Технологический процесс	Качественный показатель, характеризующий технологический процесс	Ценность продукции			
		Особо ценная	Высокоценная	Ценная	Малоценная
		Технологические параметры и решения			
Подготовка к выемке	Крупность куска	Сетка скважин: 4*4 до 6*6 (в зависимости от мощности пласта)		Сетка скважин: 3*3 до 6*6 (в зависимости от мощности пласта)	
	Засорение	Конструкция заряда: рассредоточенный с учетом технологии Blast Maker	Конструкция заряда: рассредоточенный с подсыпкой 0,5 м надугольной зоны	Конструкция заряда: сплошной с подсыпкой 0,5 м надугольной зоны	Конструкция заряда: сплошной
Выемочно-погрузочные работы	Засорение	Выемка: селективная по блоку и слоям	Выемка: селективная по слоям	Выемка: валовая	
	Крупность куска	Вместимость ковша экскаватора: максимальная рациональная		Вместимость ковша экскаватора: средняя	Вместимость ковша экскаватора: без учета влияния на качество
Транспортирование	Крупность куска	Вместимость кузова автосамосвала: максимальная рациональная		Вместимость кузова автосамосвала: средняя	Вместимость кузова автосамосвала: без учета влияния на качество
Складирование	Засорение	Количество штабелей: 8-10	Количество штабелей: 5	Количество штабелей: 4	Количество штабелей: 3
Переработка	Засорение	Способ обогащения: глубокое	Способ обогащения: породовыборка	Обогащение отсутствует	
Дополнительные удельные затраты на реализацию решений и достижение требуемых параметров (ΔC), руб./т					
Всего		309	255	84	0

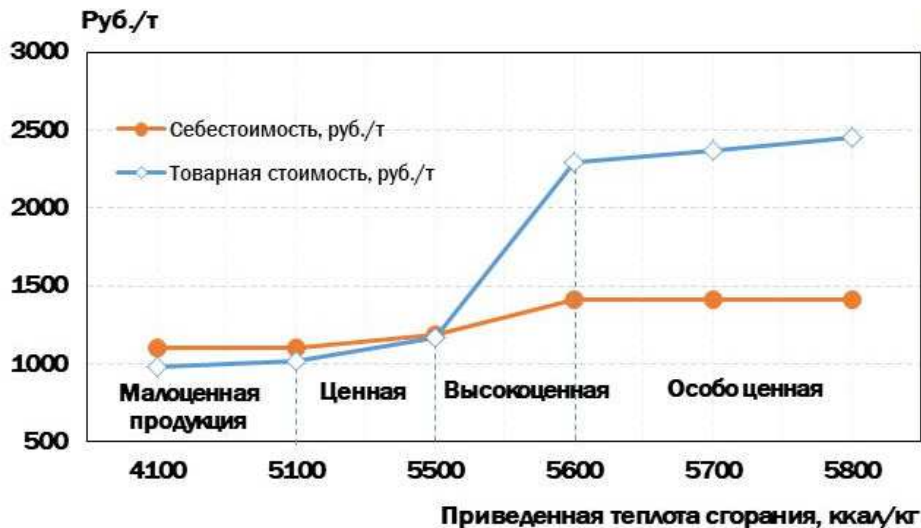


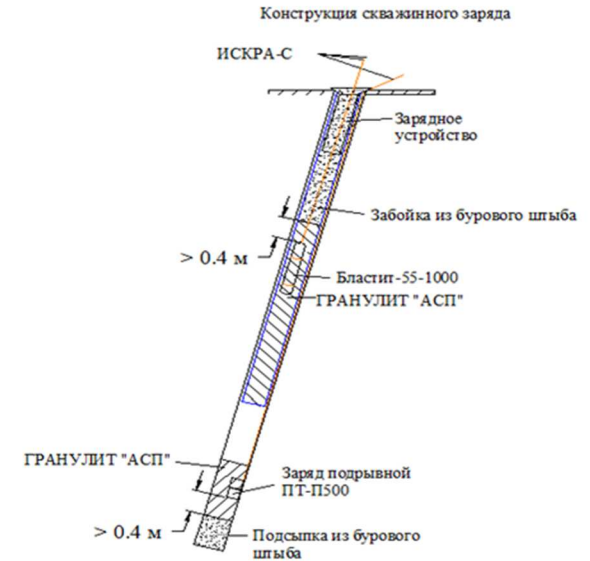
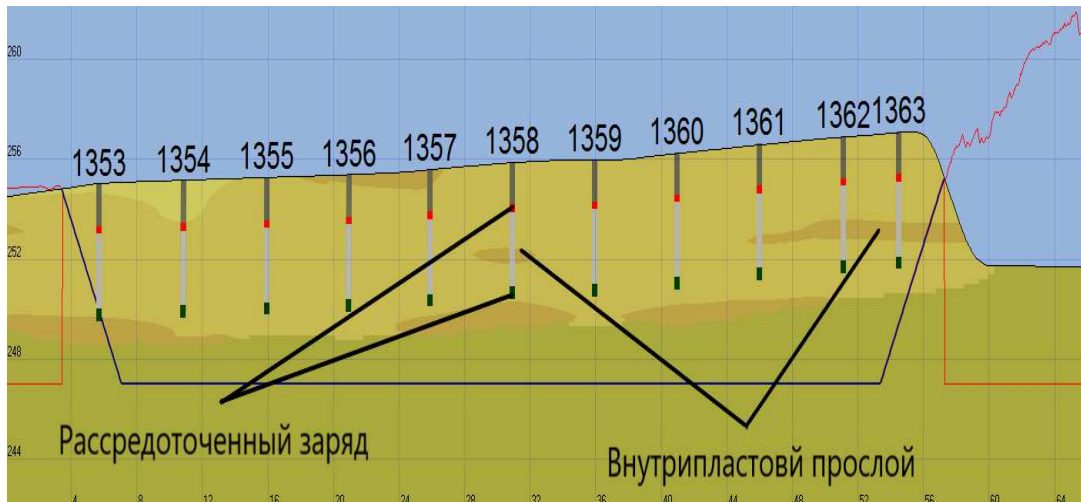
Рис.6 Зависимость товарной стоимости продукции угольного разреза от приведенной теплоты сгорания

Анализ результатов, представленных в табл. 1 и на рис. 6, показывают, что для условий Бейского каменноугольного месторождения изменение параметров основных технологических процессов обуславливает увеличение приведённой теплоты сгорания от 5100 ккал/кг до 5800 ккал/кг, затрат на добычу угля в 1,27 раза (с 1100 до 1400 руб./т), что позволяет увеличить товарную стоимость продукции более чем в 2,4 раза.

Примеры реализации предлагаемых технологических решений по повышению товарной стоимости продукции при выполнении технологических процессов подготовки к выемке, выемки и складирования угольной продукции для Восточно-Бейского угольного разреза представлены на рис. 7-9.

Использование технологии Blast Maker, рассредоточенной конструкции заряда, селективной выемки с подбором рациональной вместимости ковша экскаватора на практике обеспечивают минимальное перемешивание различных сортов угля и засорение вскрышными породами, требуемую его крупность. Увеличение количества штабелей складирования угля до десяти позволяет повысить оперативность работ по формированию определенного качества угля при отгрузке потребителям.

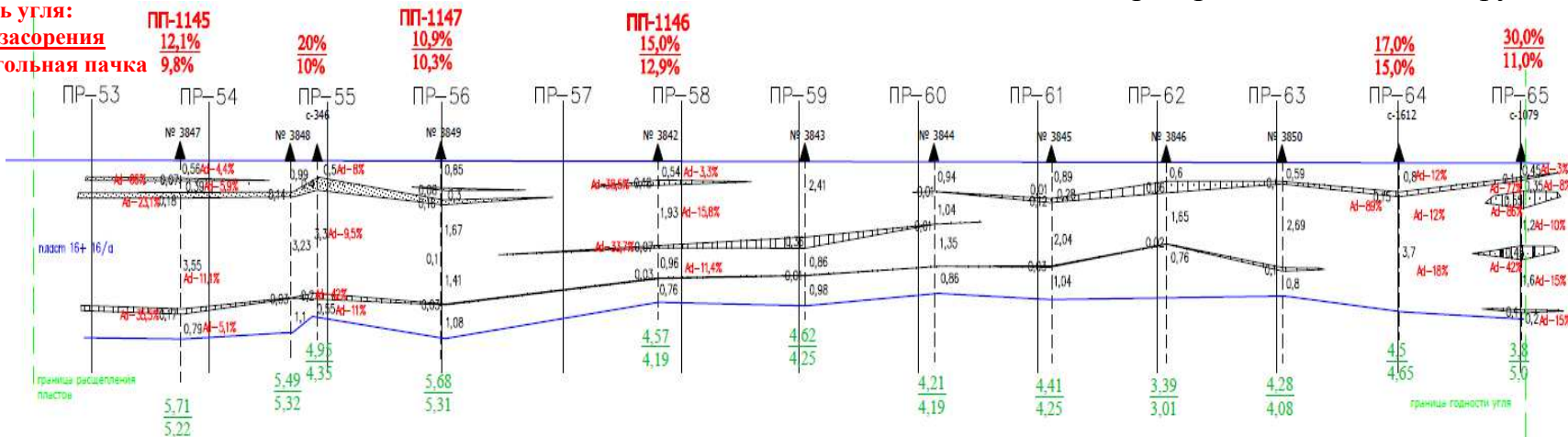
Изменение параметров отдельного технологического процесса в определенном диапазоне, а также количество технологических процессов, в которых производятся изменения параметров, могут оказать различное влияние на итоговое качество продукции. Для количественной оценки влияния изменения параметров технологических процессов на качество добываемого угля разработана методика оценки качества технологических процессов угольного разреза. Отличительной особенностью предлагаемой методики является учет влияния количества задействованных процессов, а также качества каждого технологического процесса на качество товарной продукции.



а) технология Blast Maker

б) рассредоточенная конструкция заряда

Зольность угля:
с учетом засорения
чистая угольная пачка



в) построение профиля блока для определения параметров БВР с использованием технологии Blast Maker

Рис. 7 Примеры технологических решений в процессе подготовки угля к выемке

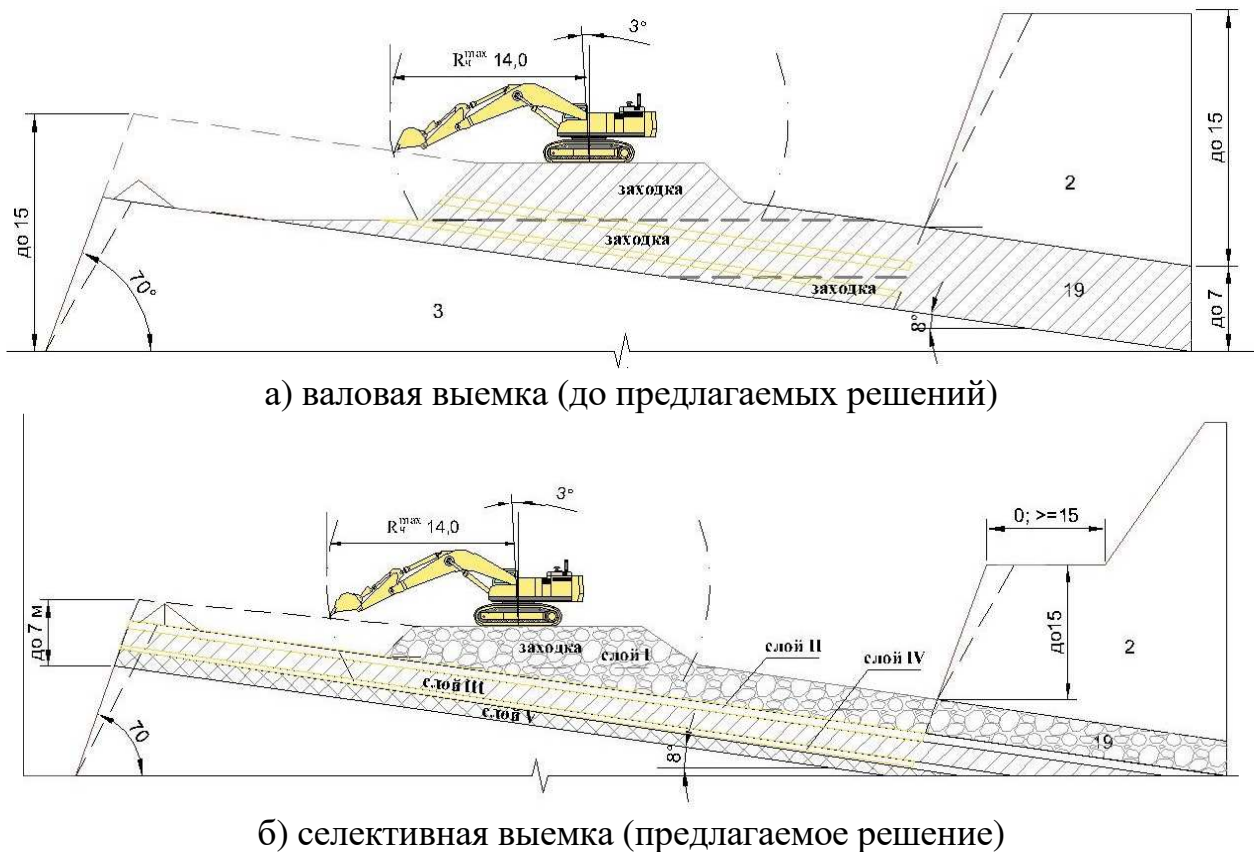


Рис. 8 Примеры технологических решений в процессе выемочно-погрузочных работ

Формула для определения среднего коэффициента качества технологических процессов $K_{ТП}$ представлена ниже:

$$K_{ТП} = \frac{K_1 * N_{под} + K_2 * N_э + K_3 * N_T + K_4 * N_c + K_5 * N_{п}}{\sum_{n=1}^5 K_n * N_{max}}, \quad (2)$$

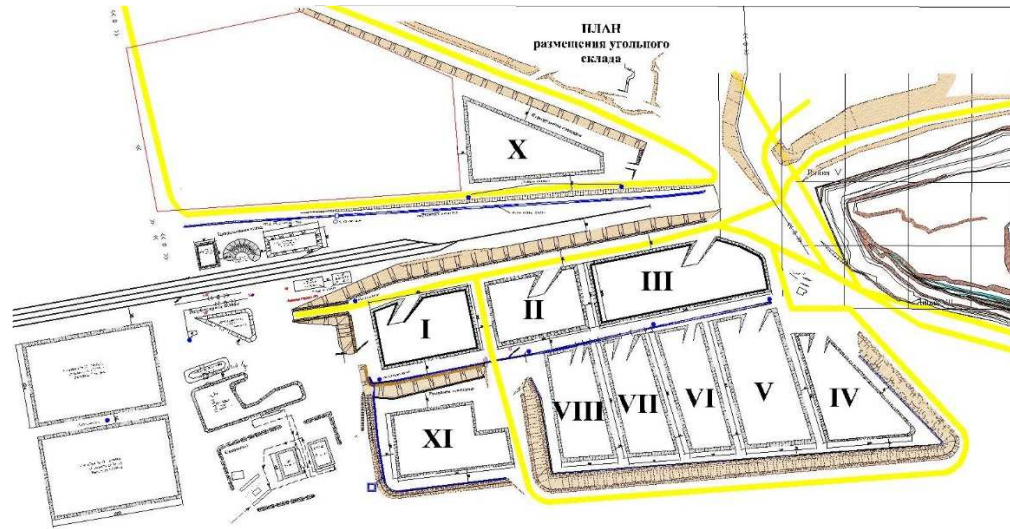
где: $K_1, K_2, K_3 \dots K_5$ – весовые коэффициенты процессов подготовки, экскавации, транспортировки, складирования горной массы, переработки продукции, соответственно, доли ед.; $N_{под}, N_э, N_T \dots N_{п}$ – оценка качества процессов подготовки, выемочно-погрузочных работ, транспортирования, складирования горной массы, переработки продукции, соответственно, балл; n – порядковый номер технологического процесса; N_{max} – принятая максимальная оценка качества процессов.

Весовые коэффициенты влияния каждого технологического процесса на итоговое качество продукции, применительно к конкретному месторождению определяются методом экспертных оценок.

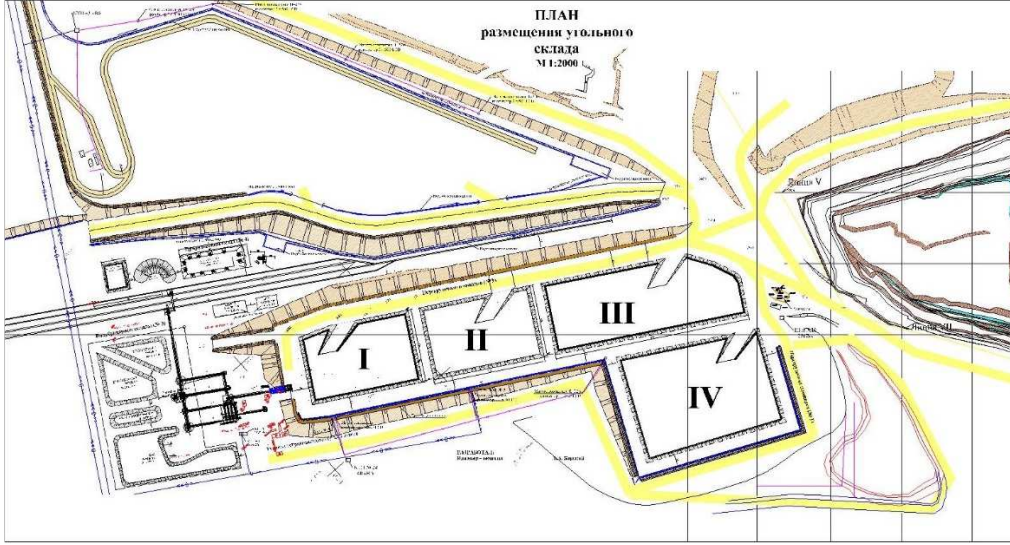
Ввиду специфических особенностей строения месторождения, качества исходного сырья в массиве, принятых технологических решений на предприятии могут отсутствовать отдельные технологические процессы, например, подготовка к выемке, переработка и др. В таких случаях данные процессы не учитываются в расчетах и весовые коэффициенты для них принимаются равными 0.

Для условий Восточно-Бейского разреза определены следующие весовые коэффициенты: подготовка горной массы (K_1) – 0,253; экскавация (K_2) – 0,304; транспортировка (K_3) – 0,050; складирование (K_4) – 0,156; переработка продукции (K_5) – 0,237.

б) количество штабелей по качеству 8-10 (предлагаемое решение)



а) количество штабелей по качеству до 4 (до предлагаемых решений)



Параметры и показатели штабелей на схемах:

№ штабеля	ДО			ПОСЛЕ		
	Емкость, тыс.т	A _d , %	Q, ккал/кг	Емкость, тыс.т	A _d , %	Q, ккал/кг
I	59,3	<12	>5400	59,3	<9	>5600
II	59,3	12-15	5100-5400	59,3	9-12	5400-5600
III	106,2	15-35	<5100	106,2	16-20	5000-5200
IV	112,3	15-35	Влага* >14%	63,0	12-16	5200-5400
V	-	-	-	85,0	20-23	4800-5000
VI	-	-	-	56,2	23-27	4600-4800
VII	-	-	-	52,2	27-35	4100-4600
VIII	-	-	-	52,8	Влага* >14%	4100-5800
IX	-	-	-	76,0	Резерв	4100-5800
X	-	-	-	70,0	>35	<4100

* - специальные штабели для влажного угля

Рис. 9 Примеры технологических решений в процессе складирования угля

Оценка качества процессов производится в соответствии с таблицей 1, при этом параметрам, соответствующим «малоценной» продукции, присваивается 1 балл, «ценной» – 2 балла, «высокоценной» – 3 балла, «особо ценной» (максимальная оценка) – 4 балла.

С помощью предложенной методики были выполнены расчеты для условий разреза «Восточно-Бейский» за период с 2014 г. по 1 кв. 2020 г., на основе которых установлена эмпирическая зависимость приведенной теплоты сгорания от качества технологических процессов, имеющая вид возрастающей линейной функции (рис. 10).

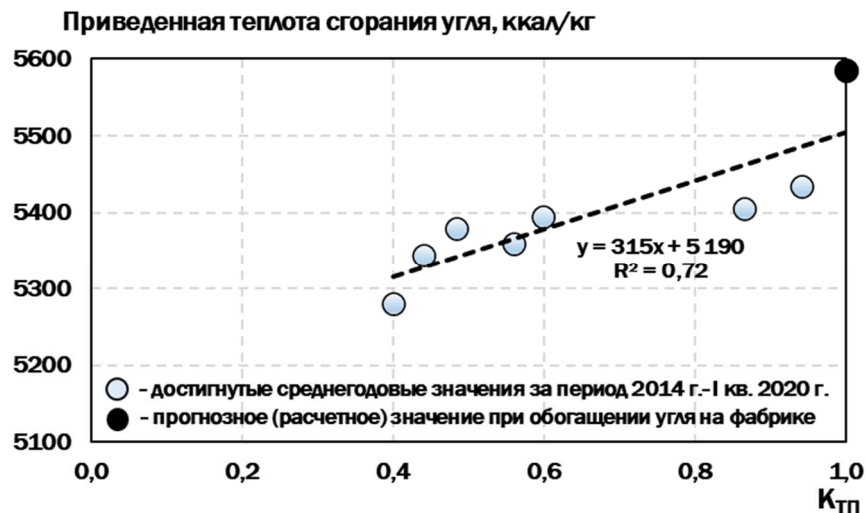


Рис. 10 Зависимость качества продукции от качества технологических процессов (ООО «Восточно-Бейский разрез», 2014 г. – 1 кв. 2020 г.)

Повышение качества технологических процессов позволяет повысить качество и, следовательно, товарную стоимость продукции угольного разреза, на основе определения рациональных параметров и технологических решений. Управление качеством добываемого угля посредством освоения на разрезе рациональных параметров позволило повысить более чем в 2 раза коэффициент качества технологических процессов, увеличить приведенную теплоту сгорания добываемого угля более чем на 100 ккал/кг и почти в 2 раза увеличить объемы продаж продукции с максимальной товарной стоимостью.

Для оценки рациональности применения новых технологических решений, направленных на повышение качества технологических процессов и, следовательно, товарной стоимости продукции, разработана экономико-математическая модель. Целевая функция модели выглядит следующим образом:

$$V_{\text{оц}} * TC_{\text{оц}} + V_{\text{вц}} * TC_{\text{вц}} + V_{\text{ц}} * TC_{\text{ц}} + V_{\text{мц}} * TC_{\text{мц}} \rightarrow \max, \quad (3)$$

где $V_{\text{оц}}$, $V_{\text{вц}}$, $V_{\text{ц}}$, $V_{\text{мц}}$ – объемы продукции по категориям «особо ценная», «высокоценная», «ценная», «малоценная» соответственно, тыс. т; $TC_{\text{оц}}$, $TC_{\text{вц}}$, $TC_{\text{ц}}$, $TC_{\text{мц}}$ – товарная стоимость продукции по категориям «особо ценная», «высокоценная», «ценная», «малоценная», соответственно, руб./т.

В предлагаемой модели имеется следующее ограничение:

$$(V_{\text{оц}} * TC_{\text{оц}} + V_{\text{вц}} * TC_{\text{вц}} + V_{\text{ц}} * TC_{\text{ц}} + V_{\text{мц}} * TC_{\text{мц}}) > V_{\text{ср}} * TC_{\text{ср}}, \quad (4)$$

где $V_{\text{ср}}$ – объемы продукции до реализации решений по повышению качества угля,

тыс. т; $ТС_{ср}$ – товарная стоимость продукции (средняя) до реализации решений по повышению качества угля, руб./т.

Алгоритм предлагаемого методического подхода к управлению качеством продукции предприятия в условиях отработки пластового месторождения с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля представлен на рис. 11.

Суть алгоритма заключается в оценке внешних и внутренних факторов функционирования угольного разреза, определении товарной стоимости угля для различных категорий угля по приведённой теплоте сгорания и соответственно ценности продукции, обосновании параметров технологических процессов и дополнительных затрат на улучшение их качества для получения каждой категории продукции, итоговом выборе технологических решений, обеспечивающих повышение эффективности деятельности угледобывающего предприятия.

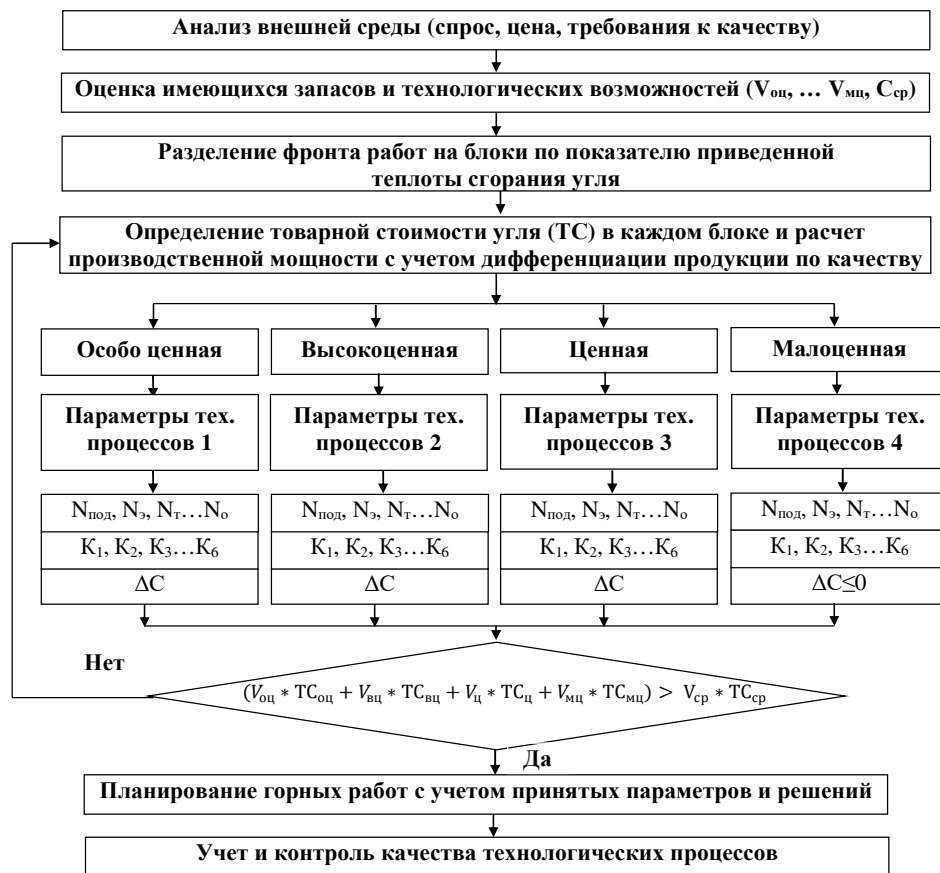


Рис. 11 Алгоритм управления качеством продукции предприятия в условиях отработки пластового месторождения с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля

Использование разработанной экономико-математической модели позволяет определять рациональные параметры технологии отработки месторождения и отработки каждого угольного блока, вовлекаемого в разработку, на основе прогноза прибыли от продаж добытого угля.

Применение разработанного методического подхода, представленного в виде алгоритма на рис. 11, позволяет управлять качеством товарной продукции на предприятиях открытого способа добычи, обрабатывающих пластовые месторождения с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля, создает

возможность повышения экономической эффективности их деятельности и, как следствие, конкурентоспособности. В условиях разреза «Восточно-Бейский» фактический экономический эффект от реализации разработанного методического подхода в течение второго полугодия 2019 г. – первого квартала 2020 г. составил более 19 млн. рублей ежемесячно.

Исходя из полученных результатов доказано, что повышение качества угольной продукции предприятия открытого способа добычи, отрабатывающего пластовое месторождение с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля, достигается разделением фронта горных работ на блоки с оценкой качества угля по предложенному показателю приведенной теплоты его сгорания, обоснованием параметров и последовательности их отработки, а также обеспечением высокого качества технологических процессов при отработке каждого блока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, содержится решение актуальной научно-практической задачи обоснования технологических параметров разработки пластовых месторождений с невыдержанными характеристиками залегания пластов и качества углей для эффективного управления качеством товарной продукции угледобывающих предприятий, что имеет существенное значение для угольной промышленности России.

В ходе исследований получены следующие результаты:

1. Установлено, что месторождения каменного угля с невыдержанными характеристиками залегания пластов и качества углей характеризуются изменениями низшей теплоты сгорания в среднем в 1,5 раза, глубины залегания пластов до 4 раз и мощности угольных пластов до 10 раз. При этом качество угля, добываемого на разрезе, может отличаться в 1,5 раза, его цена в 2-3 раза, что существенно отражается на экономических показателях его деятельности и подтверждает необходимость разработки методических рекомендаций по управлению качеством продукции угольных разрезов.

2. Для управления качеством товарной продукции угольных разрезов предложено использовать показатель приведенной теплоты сгорания угля, учитывающий изменение таких характеристик, как зольность, влажность и крупность куска. По величине данного показателя следует осуществлять разделение фронта горных работ на отдельные блоки, выбор порядка и параметров их отработки.

3. Определено, что повышение качества продукции угольных разрезов, на месторождениях с невыдержанными характеристиками залегания пластов и качества углей, при выполнении основных технологических процессов обеспечивается:

- при производстве буровзрывных работ – исключением перемешивания различных сортов угля и засорения вскрышными породами; достижением требуемой крупности угля за счет применения рассредоточенной конструкции заряда на добычных уступах и подсыпкой забоя скважины на вскрышных уступах, расположенных над пластами угля;

- при выемочно-погрузочных работах – селективной выемкой угля различного качества и вскрышных пород в процессе экскавации, что достигается подбором вместимости ковша экскаватора;

- при транспортировании – сокращением переизмельчения угля при частых перегрузках и увеличением вместимости кузова карьерного автосамосвала;

- при складировании – увеличением количества штабелей с различным качеством угля в результате изменения параметров каждого штабеля и отведением дополнительных площадей для их размещения;

- при переработке – выбором способа обогащения в зависимости от конечного получаемого качества угля на разрезе и требований рынка.

4. Разработана методика оценки качества технологических процессов в условиях отработки месторождения каменного угля с невыдержанными характеристиками залегания пластов и качества углей, позволяющая осуществлять количественную оценку принимаемых решений. Отличительной особенностью методики является учет влияния количества процессов, задействованных в повышении качества, и качества каждого технологического процесса на обеспечение требуемой товарной стоимости продукции. Установлено, что для условий Бейского каменноугольного месторождения изменение параметров основных технологических процессов обуславливает увеличение приведённой теплоты сгорания от 5100 ккал/кг до 5800 ккал/кг, затрат на добычу угля в 1,27 раза (с 1100 до 1400 руб./т), что позволяет увеличить товарную стоимость продукции более чем в 2,4 раза.

5. Выявлена зависимость качества продукции, измеряемого приведенной теплотой сгорания, от показателя качества технологических процессов угольного разреза для условий ООО «Восточно-Бейский разрез» за период с 2014 г. по 1 кв. 2020 г. Использование полученной эмпирической зависимости, имеющей вид возрастающей линейной функции, позволяет моделировать рациональные параметры процессов подготовки к выемке, экскавации, транспортирования, складирования угля и переработки продукции. Освоение на разрезе рациональных параметров технологических процессов позволило повысить более чем в 2 раза коэффициент качества технологических процессов, увеличить приведенную теплоту сгорания добываемого угля более чем на 100 ккал/кг и почти в 2 раза увеличить объемы продаж продукции с максимальной товарной стоимостью.

6. Разработана экономико-математическая модель оценки рациональности применения технологических решений, отличающаяся совместной оценкой эффективности процессов добычи и переработки углей различного качества с использованием показателя приведенной теплоты сгорания полезного ископаемого. Использование предложенной модели позволяет выбрать технологические решения, обеспечивающие качество реализуемого угля, соответствующее сложившейся конъюнктуре рынка.

7. Предложен алгоритм управления качеством продукции предприятия в условиях отработки месторождения каменного угля с невыдержанными характеристиками залегания пластов и качества углей, включающий: районирование фронта горных работ по показателю приведенной теплоты сгорания угля, оценку качества технологических процессов и экономико-математическое моделирование рациональности применения технологических решений. Алгоритм определяет последовательность осуществления технологических улучшений на разрезе для повышения эффективности его деятельности.

8. Установлено, что практическое применение разработанного методического подхода управления качеством товарной продукции для условий разреза «Восточно-Бейский» позволило ежемесячно получать фактический экономический эффект в течение второго полугодия 2019 г. – первого квартала 2020 г. более 19 млн. рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и входящих в базы цитирования Scopus, Web of Science

1. **Попов, Д.В.** Методика управления качеством товарной продукции угольных разрезов с невыдержанными характеристиками залегания и качества угля (на примере Бейского месторождения каменного угля) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 9 (специальный выпуск 28). – С. 3-21. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-28-3-21.
2. **Попов, Д.В.** ООО «Восточно-Бейский разрез»: работа предприятия и перспективы развития // Уголь. – 2020. – №8. – С. 32-34. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-8-32-35.
3. Каинов, А.И., **Попов, Д.В.** Мероприятия по увеличению эффективности производства ОАО «Разрез Тугнуйский» за 2012 год / А.И. Каинов, Д.В. Попов // Уголь. – 2013. – №3. – С. 28-30.
4. Ясюченя, С.В. Рекорды как способ выявления и освоения потенциальных возможностей экскаваторно-автомобильного комплекса / С.В. Ясюченя, П.И. Опанасенко, В.Н. Кулецкий, А.И. Каинов, **Д.В. Попов** // Уголь. – 2013. – №8. – С. 19-21.
5. Кулецкий, В.Н. Создание организационно-технологических условий для высокопроизводительной работы экскаваторов Bucyrus 495 HD / В.Н. Кулецкий, **Д.В. Попов** // Уголь. – 2012. – №12. – С. 4-9.

Материалы конференций и сборники научных трудов

6. Азев, В.А., **Попов, Д.В.** Управление качеством товарной продукции в условиях отработки сложноструктурного угольного месторождения. Горные науки и технологии. – 2020. – №5(2). С. – 119-130. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-119-130.
7. **Попов, Д.В.**, Захаров, С.И. Организация технологического развития угольного разреза «Восточно-Бейский» в 2014-2017 гг. // Стратегия, тактика и практика инновационного развития угледобывающего производственного объединения: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 12 (специальный выпуск 39). – С.95-101.
8. **Попов, Д.В.** Организационное обеспечение технологического развития угольного разреза «Восточно-Бейский» // Открытые горные работы в XXI веке: результаты, проблемы и перспективы развития (Материалы III международной научно-практической конференции): Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 12 (специальный выпуск 37). – С.327-334.
9. Кавышкин, В.П. Система операционных улучшений в ООО «Восточно-Бейский разрез» / В.П. Кавышкин, **Д.В. Попов**, С.И. Захаров / Управление развитием угледобывающего производственного объединения: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Специальный выпуск 62. – М.: Издательство «Горная книга». – 2015. – С. 53-57.