

*На правах рукописи*



**МУЛЕНКОВА АНАСТАСИЯ ОЛЕГОВНА**

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТРЕБОВАНИЙ  
К ОБОРУДОВАНИЮ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
СОРТОВОГО УГЛЯ В РАЗРЕЗЕ**

Специальность 25.00.22 «Геотехнология  
(подземная, открытая и строительная)»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск 2019

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

**Научный руководитель:**

*Демченко Игорь Иванович*  
доктор технических наук, доцент

**Официальные оппоненты:**

*Авдеев Павел Борисович*  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», горный факультет, декан  
*Селюков Алексей Владимирович*  
кандидат технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО "Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева", кафедра открытых горных работ, заведующий

**Ведущая организация:**

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова», г. Якутск

Защита диссертации состоится «07» ноября 2019 года в 16-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.099.23 ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660025, г. Красноярск, пр-т им. газеты «Красноярский рабочий», 95, ауд. 200.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» и на сайте университета: <http://www.sfu-kras.ru/>

Автореферат разослан «\_\_\_» сентября 2019 года

Ученый секретарь

диссертационного совета



Бондина Светлана Сергеевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Вопрос качества поставляемого потребителю энергетического угля имеет большое значение, так как определяет его конкурентоспособность по сравнению с другими энергоносителями.

Одним из направлений повышения качества угля является сортировка, т. е. разделение рядовых углей по размерам кусков (крупности) на классы. Объем переработанного угля в 2017 г. составил 196,5 млн т.

Однако в настоящее время процессы получения и доставки сортового угля сопровождаются качественными и количественными потерями готового продукта и загрязнением окружающей среды на этапах транспортировки от места добычи до места переработки, временного хранения и доставки до конечного потребителя.

Таким образом, появляется необходимость обоснования технологии получения сортового угля, которая даст возможность обеспечить сохранение его стабильных качественных и количественных показателей при экологизации технологических процессов его получения и транспортировки на разрезе и тем самым позволит поддержать его конкурентоспособность. Технология получения сортового угля в разрезе неразрывно связана с обоснованием параметров оборудования, задействованного в ней.

Отсутствие необходимых результатов научных исследований, позволяющих принять решение по обоснованию предлагаемой технологии, снижает эффективность разработки угольных месторождений и делает поставленную задачу актуальной.

**Цель работы.** Обоснование технологии управления качеством энергетического угля.

**Идея работы.** Управление качеством угля на разрезе достигается за счет технологии получения сортового угля в забое разреза мобильным дробильно-сортировочным комплексом с возможностью отгрузки сорта в специализированные контейнеры, установленные на технологическом автотранспортном средстве (ТАТС).

### **Основные задачи исследования:**

1. Обзор применяемых методов повышения качества угля. Анализ существующих способов получения сортового угля.

2. Обоснование номенклатуры и параметров оборудования, обеспечивающего получение сортового угля в забое разреза и сохранение стабильных качественных и количественных характеристик готового продукта.

3. Разработка математической модели, определяющей возможность расположения оборудования в забое с целью получения сортового угля при различных технологических схемах.

4. Технико-экономическая оценка предлагаемых технологических и технических решений в конкретных горнотехнических условиях.

### ***Положения, выносимые на защиту:***

1. Для обеспечения ресурсосбережения и экологичности процессов получения и доставки сортового угля целесообразно использовать мобильный комплекс оборудования, обеспечивающий его сортировку в забое с последующей погрузкой в специализированные контейнеры, располагаемые на платформе технологических автотранспортных средств, параметры которых predeterminedены производительностью добычного оборудования, размером и структурой спроса.

2. Вид и грузоподъемность технологического автотранспортного средства необходимо устанавливать с учетом типоразмеров контейнеров, дорожных условий в разрезе и объемами транспортирования сортового угля.

3. Технологическую схему размещения и состав комплекса оборудования целесообразно выбирать, учитывая его габариты в плане, размеры рабочей площадки и вид добычной заходки, увязанных математической моделью, определяющей возможность расположения оборудования в забое для получения сортового угля.

### ***Научная новизна работы:***

1. Установлены зависимости массогабаритных, конструктивных и режимных параметров специализированных контейнеров для сортового угля от производительности добычного оборудования, размера и структуры спроса.

2. Выявлены зависимости фактической грузоподъемности технологического автотранспортного средства от вариантов компоновки его грузовой платформы специализированными контейнерами, позволившие в конкретных горнотехнических условиях определить его номинальную грузоподъемность и вид.

3. Разработана математическая модель, определяющая возможность расположения оборудования в забое для получения сортового угля, основанная на установленных параметрах оборудования, необходимого для сохранения его качественных и количественных характеристик.

***Методы исследований.*** В работе применялись научный и технико-экономический анализы, аналитическое обобщение сведений, содержащихся в научно-технической, патентной и специальной литературе, физическое и математическое моделирование с использованием программного обеспечения ЭВМ.

***Обоснованность и достоверность работы*** подтверждена использованием комплексных подходов, соблюдением основных принципов математического и физического моделирования, применением современных методов исследований и аналитических методов расчета, а также сходимостью результатов исследования с результатами, полученными другими авторами.

***Личный вклад автора*** заключается в выполнении основного объема теоретических исследований, изложенных в диссертационной работе, включая постановку целей и задач исследования, в разработке новых технологических решений получения сортового угля в забое разреза при экономичности, ресурсосбережении и экологичности процессов его получения и транс-

портировки. Все результаты диссертационной работы, перечисленные в ее заключении, получены лично автором.

Автор самостоятельно выбрал и обосновал тему диссертационного исследования, сформулировал его цель и задачи, выполнил анализ научно-технической литературы, разработал и обосновал новые технологические решения получения сортового угля в забое разреза при экономичности, ресурсосбережении и экологичности процессов его получения и транспортировки, написал текст диссертации. Результаты диссертационной работы, перечисленные в ее заключении, получены лично автором, им апробированы и подготовлены к печати.

**Практическая значимость работы.** Определена номенклатура горно-транспортного оборудования, позволяющего повысить эффективность получения сортового угля в разрезе. Разработаны конструкции специализированных контейнеров, используемых при транспортировке (патенты РФ № 2537875, № 2544983).

Разработана методика (программа для ЭВМ № 2017617474) определения грузоподъемности технологического автотранспортного средства, основные элементы которого защищены патентами РФ № 2550062, № 2551698.

Предложены транспортно-технологические схемы размещения горно-транспортного оборудования в забое и определены области использования данного оборудования в различных горнотехнических условиях.

Выполнено технико-экономическое обоснование эффективности получения сортового угля в забое разреза.

**Реализация работы.** Основные результаты диссертационной работы приняты к внедрению в ЗАО «Спецтехномаш», занимающемся изготовлением горно-обогачительного оборудования. Созданная математическая модель, определяющая возможность расположения оборудования в забое для получения сортового угля, выполненные физические модели используются при обучении студентов, магистрантов и аспирантов ФГАОУ ВО СФУ.

**Апробация работы.** Результаты исследований и основные материалы диссертации доложены: на научно-практических конференциях «Игошинские чтения» (Иркутск, 2013, 2015, 2017, 2018 гг.); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Экологическое образование и природопользование в инновационном развитии региона» (Ачинск, 2013 г.); всероссийских научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Молодежь и наука» (Красноярск, 2013, 2014 гг.); Международной научно-практической конференции «Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении» (Санкт-Петербург, 2014 г.); конференции «Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства» (Красноярск, 2016 г.); международных конференциях студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив Свободный» (Красноярск, 2016–2018 гг.); Международной научно-

технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека» (Екатеринбург, 2017 г.); международных практических конференциях «Открытые горные работы в XXI веке» (Красноярск, 2015, 2017 гг.); научных семинарах ФГАОУ ВО СФУ (Красноярск, 2015–2018 гг.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 6 – в журналах, входящих в перечень ВАК РФ, получено 4 патента на изобретение и зарегистрирована 1 программа для ЭВМ.

**Объем и структура работы.** Диссертация изложена на 170 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, заключения и 1 приложения. Содержит 75 рисунков, 36 таблиц, список литературы из 94 наименований.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю д-ру техн. наук И. И. Демченко, а также проф., д-ру техн. наук А. И. Косолапову и коллективам кафедр «Горные машины и комплексы» и «Открытые горные работы» СФУ за оказанную организационную и методическую помощь при подготовке диссертационной работы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** обоснована актуальность темы исследования, представлено современное состояние изучаемого вопроса управления качеством угля, проведены обзор и анализ применяемых технологий получения сортового угля и предложена технология получения сортового угля в забое разреза.

**Во второй главе** представлены конструкции и параметры контейнеров специализированных угольных (КСУ). На основании прочностных расчетов определены их массовые и геометрические параметры.

**В третьей главе** разработана методика определения массогабаритных параметров технологического автотранспортного средства для транспортирования сортового угля из забоя разреза.

**В четвертой главе** построены математическая модель, определяющая возможность расположения оборудования в забое для получения сортового угля, и технологические схемы размещения оборудования. Определена возможность применения оборудования в конкретных горнотехнических условиях.

**Пятая глава** содержит технико-экономическую оценку предлагаемой технологии получения сортового угля в забое в условиях разреза Балахтинский.

Диссертация базируется на трудах отечественных и зарубежных ученых и практиков в области открытой разработки месторождений.

Существенный вклад в разработку теоретических основ комплексного использования и обеспечения качества добываемого полезного ископаемого внесли А. А. Абрамов, М. И. Агошков, С. Я. Арсеньев, С. П. Артюшин, П. П. Бастан, З. Ш. Беринберг, И. С. Благов, В. Д. Буткин, В. Ф. Бызов, С. И. Грой-

сман, Л. Л. Косенко, А. И. Косолапов, А. П. Красавин, Г. Г. Ломоносов, Д. Е. Махно, Н. В. Мельников, С. И. Протасов, В. В. Ржевский, А. А. Сысоев, К. Н. Трубецкой, П. И. Томаков, М. И. Щадов и др.

Основными особенностями предлагаемой технологии получения сортового угля являются:

- внедрение в добычной забой, разрабатываемый экскаватором циклического действия, мобильного дробильно-сортировочного оборудования;
- изменение звена транспортирования с традиционного для циклической технологии – карьерного автосамосвала – на технологическое автотранспортное средство с грузонесущим элементом в виде специализированных контейнеров.

Элемент оборудования, введенный в технологическую цепочку для обеспечения сохранения качественных и количественных характеристик сортового угля – КСУ, требует обоснования своих конструкции и параметров.

Конструкция контейнеров должна обеспечивать гравитационную загрузку сортового угля и выгрузку в зависимости от вида потребителя: для частного сектора с возможностью порционной разгрузки (рисунок 1), для котельных – с возможностью разгрузки опрокидыванием. Габаритные размеры КСУ приняты соответствующими универсальным контейнерам. Массовые параметры зависят от насыпной плотности угля и особенностей конструкций КСУ.

Масса нетто КСУ,  $t$ , рассчитывается по формуле

$$m_{\text{нетто}} = V_{\text{вн}} \cdot \gamma_{\text{н}} \cdot K_{\text{нап}}, \quad (1)$$

где  $V_{\text{вн}}$  – внутренний объем,  $\text{м}^3$ ;  $\gamma_{\text{н}}$  – насыпная плотность сортового угля,  $\text{т}/\text{м}^3$ ;  $K_{\text{нап}}$  – коэффициент наполняемости контейнера.

Для определения массы тары КСУ  $m_0$ ,  $t$ , проведены прочностные расчеты, которые позволили в соответствии с требованиями нормативной документации установить технические характеристики основных элементов и материалов КСУ. Согласно им несущие элементы конструкции малотоннажных КСУ рекомендуется изготавливать из холодногнутого профиля, стенки – из гофрированного листа толщиной 1,5 мм, крышу – из тонколистового прокатного листа толщиной 1,5 мм, пол – из рифленого листа толщиной 3 мм. Суммирование масс каждого составляющего элемента позволило вычислить массу тары  $m_0$  и массу брутто  $m_{\text{бр}}$  КСУ.

В результате определения массогабаритных параметров КСУ установлен их типоразмерный ряд (таблица 1).

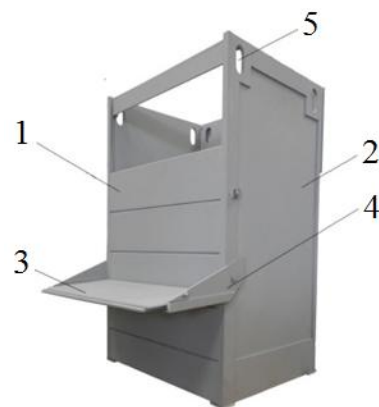


Рисунок 1 – Модель малотоннажного специализированного контейнера для сортового угля: 1 – съемные панели передней стенки; 2 – боковая стенка; 3 – ступенька, образованная половиной крышки контейнера; 4 – откидывающиеся опоры

В таблице 1 представлены основные массогабаритные параметры и обозначения типоразмеров КСУ, где через дефис указана максимальная расчетная масса брутто в тоннах.

Коэффициент тары  $K_T = m_0/m_{бр}$  оценивает металлоемкость конструкции специализированного контейнера. Коэффициент тары КСУ ниже коэффициента тары универсальных контейнеров на 17–68 %, что свидетельствует об эффективности предлагаемых конструкций КСУ и высоком уровне их полезной загрузки

Таблица 1 – Параметры специализированных и универсальных контейнеров

Внешние габаритные размеры, м			Внутренний объем, м <sup>3</sup>	Контейнеры					
				Специализированные			Универсальные		
Длина	Ширина	Высота		Масса, т		Типоразмер	Масса, т		Типоразмер
			нетто	тары	нетто		тары		
12,192	2,438	2,438	61,3	62,0	3,58	КСУ-65,6	26,05	3,95	1А
9,125	2,438	2,438	45,7	46,2	2,78	КСУ-49	21,95	3,05	1В
6,058	2,438	2,438	30	30,4	1,72	КСУ-32,1	21,9	2,1	1С
2,991	2,438	2,438	14,3	14,5	1,08	КСУ-15,6	8,25	1,75	1D
2,110	2,650	2,400	10,4	10,5	0,77	КСУ-11,3	4,04	0,96	УУК-5
2,110	1,325	2,400	5,1	5,2	0,5	КСУ-5,7	2,45	0,55	УУК-3
1,800	1,050	2,000	3,7	3,0	0,28	КСУ-3,3	0,95	0,3	АУК-1,25
1,150	1,000	1,700	1,9	1,4	0,145	КСУ-1,55	0,425	0,2	АУК-0,625

Выявлена зависимость времени погрузки КСУ, ч, от производительности горнотранспортного оборудования:

$$t_k = \frac{V_{внi} \cdot \gamma_n \cdot K_{нап}}{Q_{об} \cdot K_{п}}, \quad (2)$$

где  $V_{внi}$  – внутренний объем специализированного контейнера  $i$ -го типоразмера, м<sup>3</sup>;  $Q_{об}$  – производительность комплекса перерабатывающего оборудования, т/ч;  $K_{п}$  – поправочный коэффициент, учитывающий долю выхода сортового угля с перерабатывающего оборудования.

График зависимости времени погрузки угля в специализированные контейнеры различных типоразмеров от производительности перерабатывающего оборудования представлен на рисунке 2.



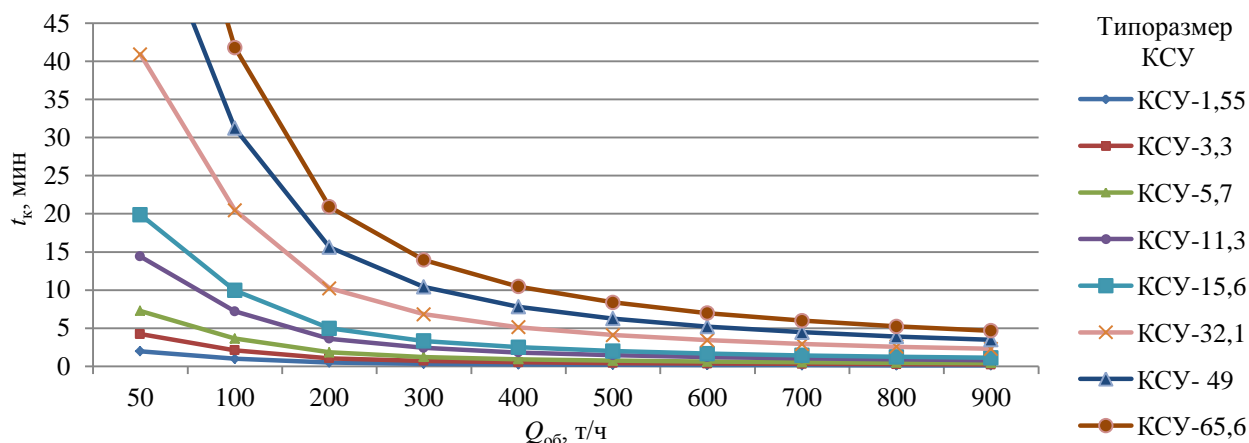


Рисунок 2 – Зависимость времени погрузки сортового угля в специализированные контейнеры от производительности перерабатывающего оборудования

Так из графика (рисунок 2) с учетом норматива времени на погрузку транспортного средства грузоподъемностью 30 т, равного 24 мин, видно, что осуществлять погрузку КСУ-32,1 конвейером производительностью до 100 т/ч нерационально.

*Вышеизложенное является доказательством первого научного положения: для обеспечения ресурсосбережения и экологичности процессов получения и доставки сортового угля целесообразно использовать мобильный комплекс оборудования, обеспечивающий его сортировку в забое с последующей погрузкой в специализированные контейнеры, располагаемые на платформе технологических автотранспортных средств, параметры которых predeterminedены производительностью добычного оборудования, размером и структурой спроса.*

Разработана физическая модель ТАТС, представляющая собой карьерный автомобиль со съемными грузонесущими элементами в виде КСУ, установленными на его платформе (рисунок 3).



Рисунок 3 – Модель ТАТС

Грузоподъемность ТАТС является одним из основных его параметров. Фактическая грузоподъемность  $q'_{тс}$ , т, коррелирует с производительностью комплекса перерабатывающего оборудования, установленного в забое, и определяется по формуле

$$q'_{тс} = Q_{об} \cdot K_{п} \cdot \eta_{н.п} \sum_{i=1}^8 (n_i \frac{V_{внi} \cdot \gamma_{н} \cdot K_{нап}}{Q_{об} \cdot K_{п}}), \quad (3)$$

где  $i$  – значение номинальной шкалы, классифицирующей специализированные контейнеры по типоразмеру;  $\eta_{н.п}$  – коэффициент неравномерной подачи

транспортных средств под погрузку;  $n_i$  – количество КСУ  $i$ -го типоразмера. Выражение, стоящее в формуле (3) под знаком суммы, обуславливает время погрузки ТАТС.

Номинальная грузоподъемность ТАТС  $q_{тс}$ , т, определяющая наибольшее количество груза, которое может быть перевезено транспортным средством одновременно, соотносится с количеством ТАТС, работающих на линии для вывоза объема сортового угля:

$$q_{тс} = \frac{Q_{об} \cdot K_{п} \left( \sum_{i=1}^8 (n_i \frac{V_{внi} \cdot \gamma_n \cdot K_{нап}}{Q_{об} \cdot K_{п}}) \eta_{н.п} + 2 \frac{L}{v} + n_i \cdot t_p \cdot \eta_{н.п} \right)}{A \cdot \gamma_q}, \quad (4)$$

где  $L$  – расстояние от забоя до склада временного хранения, км;  $v$  – скорость движения ТАТС, км/ч;  $t_p$  – время разгрузки одного КСУ с грузовой платформы ТАТС, согласно нормативной документации;  $\eta_{н.п}$  – коэффициент неравномерной подачи ТАТС под разгрузку;  $A$  – количество ТАТС, обслуживающих комплекс оборудования, ед;  $\gamma_q$  – коэффициент использования грузоподъемности.

Зависимости  $q_{тс}$  (для перевозки мало- и среднетоннажных контейнеров) представлены на рисунке 4.

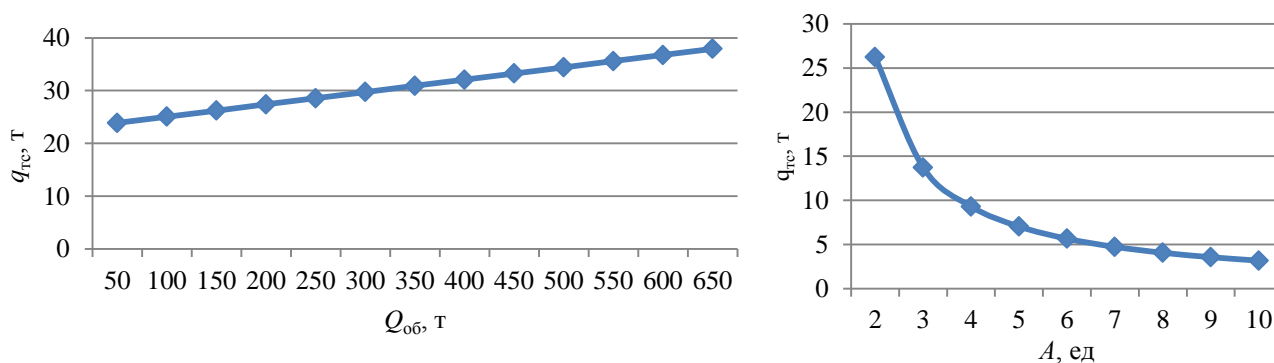


Рисунок 4 – Зависимость грузоподъемности ТАТС  $q_{тс}$  от производительности оборудования  $Q_{об}$  и количества ТАТС, работающих на линии,  $A$

Согласно графику (рисунок 4) зависимость грузоподъемности ТАТС от производительности перерабатывающего оборудования и расстояния транспортирования имеет линейный характер, а зависимость грузоподъемности от количества ТАТС на линии – вид гиперболы.

Как следует из формул (3) и (4), на грузоподъемность и время погрузки ТАТС влияет количество КСУ, установленных одновременно на грузовой платформе. Их оптимальное количество удовлетворяет двум основным условиям:

1) суммарная масса брутто специализированных контейнеров  $m_{бр}$ , установленных на грузовой платформе, стремится к номинальной грузоподъемности ТАТС и равна его фактической грузоподъемности, т:

$$\sum_i^1 m_{брi} \cdot n_i = q'_{тс} \leq q_{тс} \quad (5)$$

где  $m_{брi}$  – масса брутто контейнера  $i$ -го типоразмера, т;

2) суммарная площадь оснований  $S_{осн}$ ,  $m^2$ , установленных контейнеров стремится к полезной площади грузовой платформы ТАТС  $S_{пл}$ ,  $m^2$ :

$$\sum_n^1 S_{осни} \cdot n_i \leq S_{пл} \quad (6)$$

С учетом условий (5) и (6) разработана программа для ЭВМ, позволяющая рассмотреть варианты компоновки платформы ТАТС различными типоразмерами КСУ в соответствии со спросом и определить зависимость между грузоподъемностью ТАТС и габаритными размерами его платформы.

Значения фактической грузоподъемности ТАТС, полученные в результате при заданных значениях длины и ширины его платформы, графически представлены на рисунке 5.

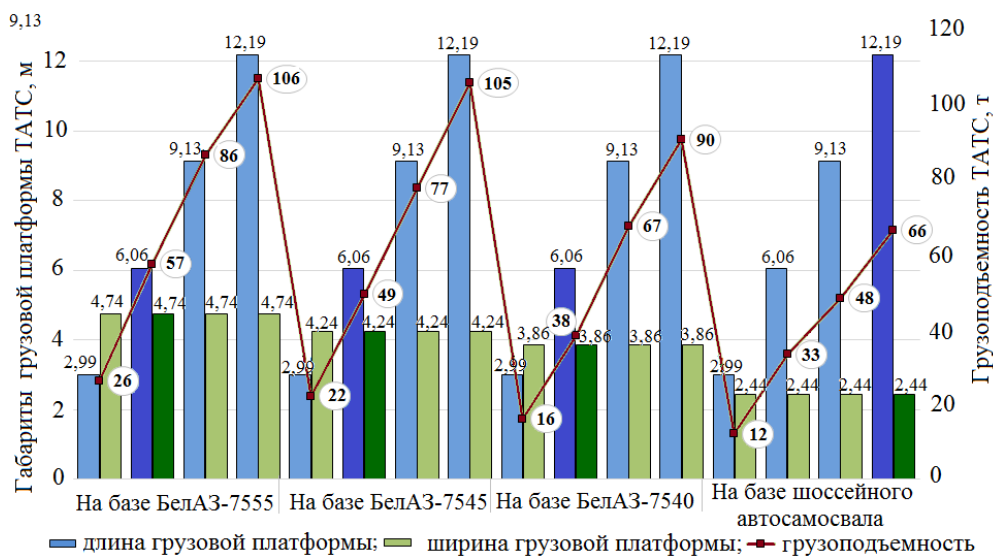


Рисунок 5 – Зависимость фактической грузоподъемности от габаритных размеров платформы ТАТС

Значения ширины соответствуют ширине транспортных средств, на базе которых предлагается исполнение ТАТС (указаны по оси абсцисс), значения длины погрузочной платформы – длине специализированных контейнеров. Контрастным цветом выделены варианты комбинации длины и ширины платформы, соответствующие или близкие к номинальным грузоподъемностям карьерного транспортного средства, на базе которого оно выполняется.

Так, для ТАТС, исполненного на базе БелАЗ-7555, оптимальными размерами платформы будут длина 6,06 м и ширина 4,74 м, при которых максимально возможная номинальная грузоподъемность ТАТС составит 57 т.

Важным параметром является погрузочная высота ТАТС  $h_{\text{пог}}$ , м, которая определяет приспособленность ТАТС к погрузочным работам. При верхней загрузке в специализированные контейнеры необходимо обеспечить выполнение условия

$$h_{\text{сб}} > h_{\text{пог}} + h_{\text{к}}, \quad (7)$$

где  $h_{\text{сб}}$  – высота сброса угля с погрузочного конвейера сортировочной установки, м;  $h_{\text{пог}}$  – погрузочная высота ТАТС, м;  $h_{\text{к}}$  – максимальная высота специализированного контейнера, установленного на платформу, м.

Минимальный радиус поворота ТАТС  $R$  зависит от межколесной базы, максимального угла поворота колес и конструктивного исполнения и определяет возможность прохождения карьерных дорог и маневрирования на рабочих площадках.

**Вышеизложенное является доказательством второго научного положения: вид и грузоподъемность технологического автотранспортного средства необходимо устанавливать с учетом типоразмеров контейнеров, дорожных условий в разрезе и объемами транспортирования сортового угля.**

Звено переработки горнотранспортного оборудования (рисунок 6) содержит приемный бункер 1 дробильной установки, который расположен в зоне разгрузки 2 ковша экскаватора. Далее уголь питателем подается в дробилку 3 для измельчения крупных кусков. Затем по передаточному конвейеру 4 уголь поступает в бункер сортировочной установки 5 и далее на грохот 6. Разделенный по фракциям уголь попадает в соответствующие сорту аккумулялирующие бункеры 7, откуда уголь требуемой фракции поступает в дозатор 8 погрузочного конвейера 9 для загрузки в специализированные контейнеры 10, расположенные на ТАТС 11.

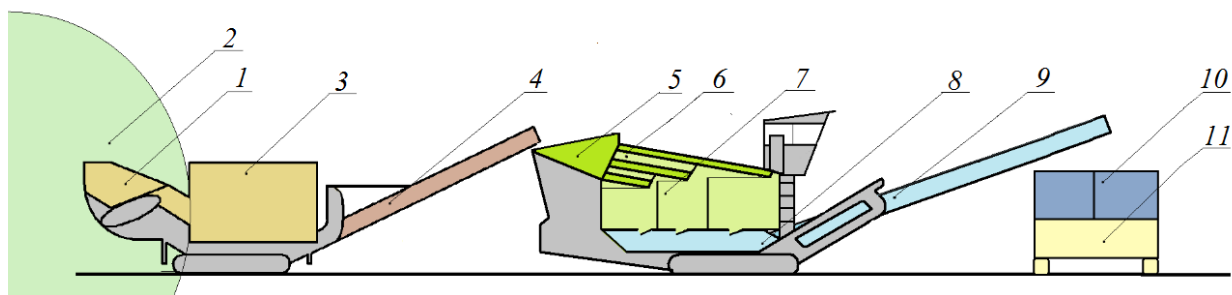


Рисунок 6 – Комплекс перерабатывающего и транспортного оборудования в забое

В зависимости от производительности перерабатывающего оборудования выделены четыре группы (таблица 2).

Таблица 2 – Варианты совместного использования оборудования

Элементы оборудования	Максимальная производительность оборудования $Q_{об}$ , т/ч			
	до 50	50–100	100–500	до 1200
Дробилка	ДШЗ 150	ДШЗ 300	ДШЗ 500	ДШЗ 625
Грохот	ГИЛ 32	ГИЛ 52А	ГИСЛ 62У-1	ГИСЛ 62У-1 (3 ед.)

Аккумулирующие бункеры сортировочной установки имеют форму геометрической фигуры, верхняя часть которой представляет собой параллелепипед, а нижняя – усеченную пирамиду. Расчет их вместимости,  $m^3$  определяется по полученному выражению:

$$V = a_r \cdot b_r \cdot h_2 + 1/3 \cdot h_1 (a_r \cdot b_r + \sqrt{a_r \cdot b_r (a - 2h_1 \cdot \operatorname{tg}(90 - \gamma))} b_{пит} + (a - 2h_1 \cdot \operatorname{tg}(90 - \gamma)) b_{пит}), \quad (8)$$

где  $a_r$  – длина грохота, м;  $b_r$  и  $b_{пит}$  – ширина грохота и питателя соответственно, м;  $h_1$  и  $h_2$  – высоты аккумулирующего бункера, м;  $\gamma$  – угол поворота погрузочного конвейера, град.

На рисунке 7 представлены разработанные транспортно-технологические схемы размещения горнотранспортного оборудования в забое разреза.

При расположении перерабатывающего оборудования в выработанном пространстве торцевого забоя с заданным значением ширины сквозной заходки  $A$ , м, необходимо выполнение условия

$$A \geq b_{т.о} + \sin \gamma \cdot l_k + b_{тс} + m, \quad (9)$$

где  $b_{т.о}$  – ширина технологического оборудования с максимальным размером (дробилки или грохота), м,  $l_k$  – длина погрузочного конвейера, м,  $b_{тс}$  – ширина ТАТС, м,  $m$  – полоса безопасности, м.

Минимальный радиус поворота ТАТС  $R$ , м

$$R \leq \frac{\text{Ш}_{р.п} - b_n - m}{2}, \quad (10)$$

где  $\text{Ш}_{р.п}$  – ширина рабочей площадки, м.

При расположении перерабатывающего оборудования на рабочей площадке торцевого забоя с заданным значением ширины тупиковой заходки  $A$ , м, и петлевым движением транспортных средств необходимо выполнение условия

$$\text{Ш}_{р.п} \geq b_n + \frac{l_n}{\sin \gamma} + \frac{\sin \gamma}{l_k} + \frac{b_{т.о}}{2} + D_c + b_c + m, \quad (11)$$

где  $b_{п}$  – ширина призмы обрушения, м;  $l_{п}$  – длина платформы ТАТС, м;  $l_{к}$  – длина конвейера ТАТС, м;  $D_{с}$  – диаметр разворотной площадки автосамосвала, м;  $b_{с}$  – ширина автосамосвала, м.

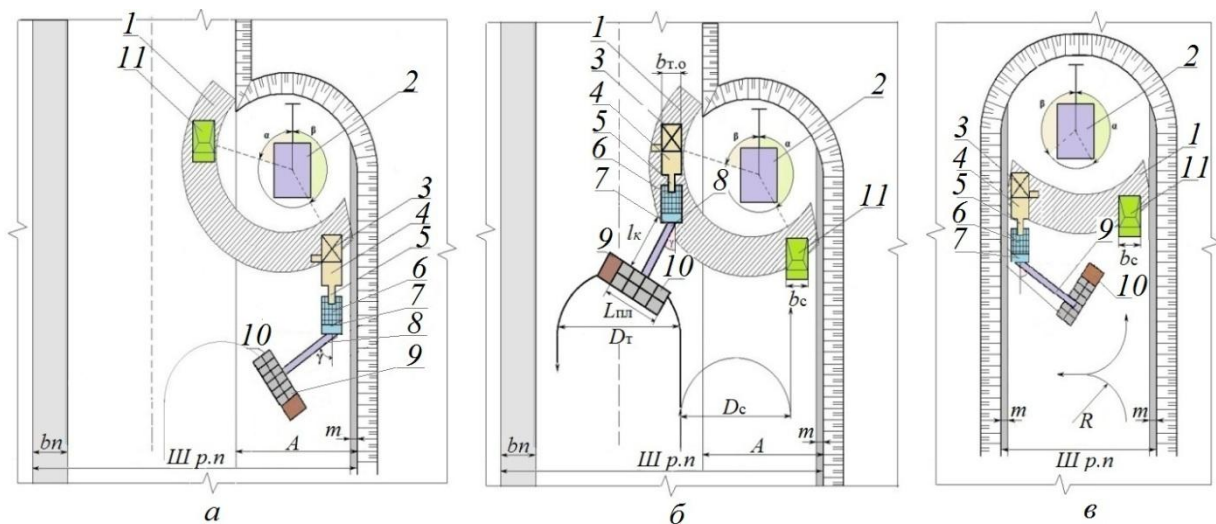
При этом для осуществления петлевых разворотов транспортных средств должно соблюдаться условие

$$\text{Ш}_{п.п} \geq D_{тс} + D_{с} + b_{п} + m, \quad (12)$$

где  $D_{тс}$  – диаметр разворотной площадки ТАТС, м.

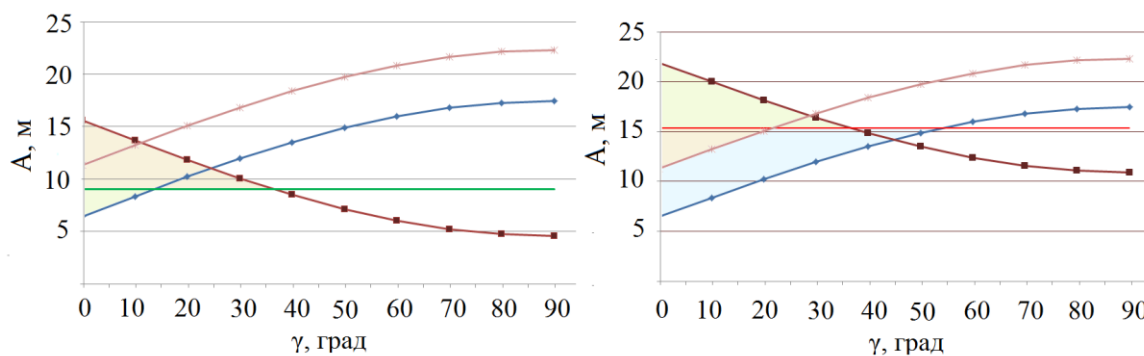
При расположении перерабатывающего оборудования в тупиковой траншейной заходке с заданным значением ширины заходки  $A$ , м, необходимо выполнение условия

$$A \geq b_{т.о} + \sin \gamma \cdot l_{к} + b_{тс} + b_{с} + 2m \quad (13)$$



1 – зона разгрузки экскаватора; 2 – экскаватор; 3 – бункер дробильной установки; 4 – дробилка; 5 – передаточный ленточный конвейер; 6 – грохот; 7 – аккумулирующие бункеры; 8 – погрузочный конвейер; 9 – ТАТС; 10 – специализированный контейнер; 11 – автосамосвал;  $\alpha$  – угол поворота экскаватора для разгрузки в автосамосвал;  $\beta$  – угол поворота экскаватора для разгрузки в бункер дробильной установки;  $\gamma$  – угол поворота погрузочного конвейера;  $m$  – ширина кромки безопасности между бортом уступа и элементами оборудования;  $b_{п}$  – ширина призмы обрушения;  $\text{Ш}_{п.п}$  – ширина рабочей площадки;  $A$  – ширина заходки. Рисунок 7 – Транспортно-технологические схемы размещения оборудования: а – в торцевом забое на территории сквозной заходки; б – в торцевом забое вне территории тупиковой заходки; в – в тупиковой траншейной заходке

Проанализирована возможность размещения перерабатывающего и транспортного оборудования по представленным на рисунке 7 схемам для экскаватора ЭКГ-5А (рисунок 8).



Ширина заходки, м, необходимая для расположения оборудования в забое: — рисунки 7, а; — рисунки 7, б; — рисунки 7, в; — ширина узкой заходки, м; — ширина нормальной заходки, м

Рисунок 8 – Возможность расположения перерабатывающего и транспортного оборудования в узкой (а) и нормальной (б) заходке экскаватора ЭКГ-5А

Из графика (рисунок 8) видно, что возможность расположения перерабатывающего оборудования зависит от угла поворота погрузочного конвейера. Например, в узкой траншейной заходке расположение оборудования не представляется возможным, а в нормальной – возможно при угле поворота погрузочного конвейера до  $27^\circ$ .

**Вышеизложенное является доказательством третьего научного положения: технологическую схему размещения и состав комплекса оборудования целесообразно выбирать, учитывая его габариты в плане, размеры рабочей площадки и вид добычной заходки, увязанных математической моделью, определяющей возможность расположения оборудования в забое для получения сортового угля.**

Произведена технико-экономическая оценка предлагаемой технологии в условиях разреза Балахтинский.

На рисунке 9 представлено изменение себестоимости сортового угля на всех технологических этапах по вариантам: вариант 1 предполагает получение сортового угля непосредственно в забое разреза и транспортировку его в КСУ на поверхность, вариант 2 ориентирован на существующую технологию – получение сортового угля на передвижной дробильно-сортировочной установке (ПДСУ), размещенной на поверхности. Особенностью варианта 2 является отгрузка полученного на ПДСУ продукта в КСУ. Существующая технология предполагает получение сортового угля на ПДСУ, хранение и доставку навалом.

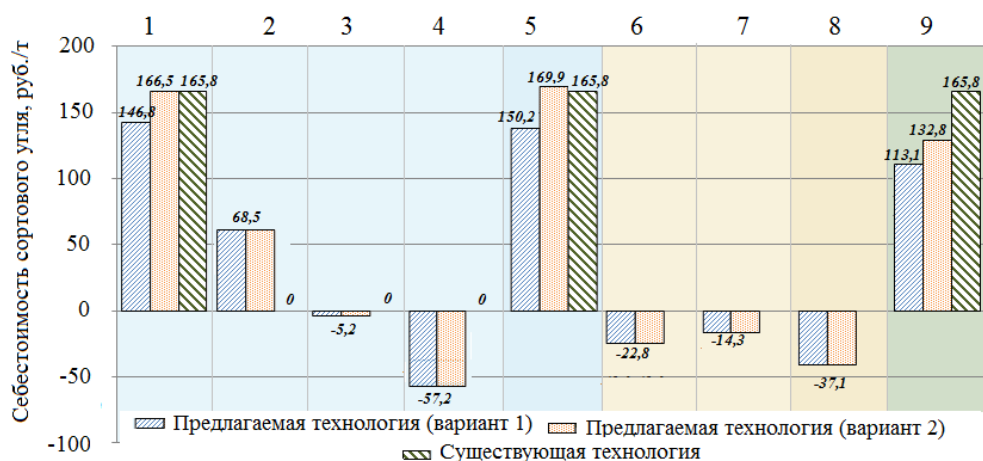


Рисунок 9 – Изменение себестоимости сортового угля: 1 – получение и хранение; 2 – парк КСУ; 3 – плата за выбросы; 4 – потери угля; 5 – итого по внутренним этапам; 6 – доставка потребителю; 7 – потери при доставке и хранении; 8 – итого по внешним технологическим этапам; 9 – итого по технологии

Экономическим расчетом определено, что на выходе из разреза себестоимость готового продукта, полученного в забое, составляет 150,2 руб./т, а по существующей технологии – 165,8 руб./т. Снижение себестоимости достигается за счет сокращения количественных потерь угля и расходов за загрязнение, высвобождения складской территории. Расположение перерабатывающего оборудования в забое разреза позволяет исключить перевалку угля. Однако наибольший экономический эффект достигается при доставке сортового угля от разреза до потребителя, что дает возможность снизить себестоимость сортового угля до 113,1 руб./т.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная и практическая задача по обоснованию технологии и параметров горнотранспортного оборудования для получения сортового угля в разрезе, имеющей большое значение для развития горнодобывающей отрасли России.

Основные научные и практические результаты работы, выводы и рекомендации состоят в следующем:

1. Разработана технология получения сортового угля в забое разреза, базирующаяся на внедрении в забой мобильного дробильно-сортировочного оборудования и отгрузке готового продукта в КСУ, установленные на ТАТС.

2. Предложены новые конструкции КСУ, адаптированные к их использованию на всех этапах технологии, начиная от загрузки сортовым углем в забое разреза, доставки различными видами транспорта и заканчивая разгрузкой и хранением у конечного потребителя.

3. Проведены прочностные расчеты, с помощью которых установлены основные массогабаритные характеристики специализированных контейне-



ров. Определены массы тары, брутто и нетто КСУ, позволившие составить типоразмерный ряд КСУ с номинальной вместимостью от 1,4 до 62,0 т.

4. Выявлены зависимости фактической грузоподъемности ТАТС от производительности перерабатывающего оборудования, которые определяются способом расстановки специализированных контейнеров с сортовым углем на грузовой платформе, временем их загрузки, а также номинальной грузоподъемности от времени оборота и количества ТАТС, работающих на линии.

5. Установлены зависимости габаритной длины, ширины и высоты грузовой платформы ТАТС от параметров специализированных контейнеров с учетом высоты сброса сортового угля с погрузочного конвейера, а также номинальной грузоподъемности ТАТС от размеров его грузовой платформы и габаритных размеров ТАТС от вариантов его конструктивного исполнения.

6. Разработаны технологические схемы размещения добывающего, перерабатывающего и транспортного оборудования для получения сортового угля в разрезе.

7. Обоснованы технологические требования к комплексу перерабатывающего оборудования в составе дробильных и сортировочных установок, передаточных и погрузочных конвейеров для получения сортового угля в забое в зависимости от производительности и схемы расстановки их в забое разреза.

Так для ЭКГ-5А целесообразно использовать комплекс перерабатывающего оборудования производительностью до 100 т/ч и 2 ТАТС грузоподъемностью 30 т.

8. Разработана математическая модель, определяющая возможность расположения оборудования в забое для получения сортового угля, позволяющая определить возможность расположения перерабатывающего и транспортного оборудования в различных забоях.

При расположении оборудования на территории узкой заходки экскаватора ЭКГ-5А угол поворота погрузочного конвейера  $\gamma \leq 14^\circ$ , а на территории нормальной заходки –  $\gamma \leq 55^\circ$ . При расположении оборудования за территорией тупиковой эксплуатационной заходки экскаватора ЭКГ-5А  $\gamma$  может достигать  $37^\circ$ .

В узкой траншейной заходке экскаватора ЭКГ-5А невозможно применение предлагаемой технологии получения сортового угля, в нормальной заходке – возможно при ограничении угла поворота погрузочного конвейера до  $21^\circ$ .

Подобный расчет возможности размещения оборудования, основанный на созданной математической модели, произведен для заходок, разрабатываемых экскаваторами ЭКГ-10, ЭКГ-12, ЭКГ-15, ЭКГ-20.

9. Обоснована возможность применения предлагаемой технологии в горнотехнических условиях разреза Балахтинский. Расчет экономической эффективности на примере предлагаемой технологии от получения сортового

угля до доставки его потребителю позволил определить, что получение сортового угля в забое разреза является эффективным. В таком случае себестоимость готового продукта будет минимальной.

**Основные результаты исследований отражены в следующих работах:**

*В изданиях, рекомендованных ВАК:*

1. Демченко, И. И. Технология погрузки угля в специализированные контейнеры на углепогрузочном комплексе / И. И. Демченко, В. А. Ковалев, А. О. Муленкова // Изв. высш. учеб. заведений. Горн. журн. – 2014. – № 8. – С. 9–14.

2. Демченко, И. И. Размещение перерабатывающего и транспортного оборудования для получения сортового угля в забое разреза / И. И. Демченко, А. О. Муленкова // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2017. – № 37. – С. 158–165.

3. Демченко, И. И. О возможности размещения перерабатывающего оборудования в забое разреза / И. И. Демченко, А. О. Муленкова // Изв. вузов. Горн. журн. – 2017. – № 8. – С. 26–32.

4. Муленкова, А. О. Определение массогабаритных параметров емкостей для доставки сортового угля из забоя разреза потребителю / А. О. Муленкова, Н. А. Дроздова, И. И. Демченко // Изв. вузов. Горн. журн. – 2018. – № 2. – С. 76–82.

5. Mulenkova, A. O. On the parameters of an industrial motor vehicle designed to transport sized coal out of the face of an open pit / A. O. Mulenkova, I. I. Demchenko // Изв. вузов. Горн. журн. – 2019. – № 1. – С. 6–13.

6. Муленкова, А. О. Техничко-экономическое обоснование получения сортового угля в забое Балахтинского разреза Красноярского края / А. О. Муленкова, И. И. Демченко // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2019. – № 1. – С. 36–47.

*В патентах:*

7. Пат. 2544983 Российская Федерация, МПК В 65 D 88/54. Контейнер для сыпучих грузов / Демченко И. И., Ковалев В. А., Серебренников В. Л., Муленкова А. О. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО СФУ. – № 2013133549/12 ; заявл. 18.07.2013 ; опубл. 20.03.15, Бюл. № 3. – 10 с.

8. Пат. 2537875 Российская Федерация, МПК В 65 D 88/54. Контейнер для сыпучих грузов / Ковалев В. А., Демченко И. И., Муленкова А. О. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО СФУ. – № 2013133479/12 ; заявл. 18.07.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. №1 – 10 с.

9. Пат. 2551698 Российская Федерация, МПК В 66 F 1/06, В 62 В 1/06, В 65 D 90/18. Транспортное средство для транспортирования и хранения грузов / Ковалев В. А., Демченко И. И., Муленкова А. О. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО СФУ. – № 2014107057 ; заявл. 25.02.2014 ; опубл. 27.05.2015, Бюл. № 3. – 10 с.

10. Пат. 2550062 Российская Федерация, МПК В 60 Р 1/48, Транспортное средство для перевозки контейнеров / Ковалев В. А., Демченко И. И., Муленкова А. О. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО СФУ. – № 2014114817 ; заявл. 14.04.2014; опубл. 10.05.2015, Бюл. №8 – 10 с.

11. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2017617474 Российская Федерация. Программа для определения параметров технологического специализированного автотранспортного средства. (Версия 1) / Муленкова А. О., Демченко И. И. ; правообладатель ФГАОУ ВО СФУ. – № 2017612795 ; дата пост. 04.04.2017 ; дата регистр. 05.07.2017.

*В других изданиях:*

12. Ковалев, В. А. Технология погрузки угля в специализированные контейнеры / В. А. Ковалев, И. И. Демченко, А. О. Муленкова // Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении : сб. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. Т. I / под ред. Е. И. Пряхина ; гл. ред. Б. Д. Прудовский ; отв. ред. А. И. Беляев, Т. А. Менухова, А. В. Терентьев. – СПб. : Нац. минер.-сырьевой ун-т «Горный», 2014. – С. 145–149.

13. Муленкова, А. О. О возможности размещения комплекса оборудования в забойных условия разреза для получения сортового угля / А. О. Муленкова // Сборник материалов Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив. Свободный – 2016», посвящ. Году образования в Содружестве Независимых Государств, Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15–25 апреля 2016 г. – Режим доступа: <http://npostu.sfu-kras.ru/digest2016/> (дата обращения: 20.01.2017).

14. Демченко, И. И. Рассмотрение параметров технологического специализированного автотранспортного средства, предназначенного для вывозки сортового угля из забоя разреза / И. И. Демченко, А. О. Муленкова // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сб. тр. 15 Междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В. Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады 20–21 апреля 2017 г. – Екатеринбург, 2017. – С. 444–447.

15. Муленкова, А. О. Выбор и обоснование параметров горнотранспортного оборудования для получения сортового угля в забое разреза / А. О. Муленкова, И. И. Демченко // Перспективы развития горно-металлургической отрасли (Игошинские чтения – 2018) : материалы Междунар. науч.-практ. конф.. – Иркутск : Изд-во ИРННТУ, 2018. – С. 18–29.