УДК 622.33 + 658.562 + 622.648

Люкс Виктория Алексеевна, студент
Научный руководитель: Тюленева Татьяна Александровна, к.э.н., доцент
(КузГТУ, г. Кемерово)

Viktoriya A. Lyuks, student
Scientific supervisor: Tatyana A. Tyuleneva, c.e.s., docent
(KuzSTU, Kemerovo)

ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА УГЛЯ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ

PROBLEMS OF COAL QUALITY CONTROL DURING TRANSPORTATION: TECHNOLOGICAL CHALLENGES

Рассмотрены технологические проблемы контроля качества угля при транспортировке из Кузбасса. Проведена классификация вызовов: отбор проб, изменение качества, автоматизация. Выполнен сравнительный анализ технологий контроля. Разработан алгоритм совершенствования системы контроля качества.

The technological problems of coal quality control during transportation from Kuzbass have been examined. The challenges have been classified: sampling, quality changes, automation. A comparative analysis of control technologies has been carried out. An algorithm for improving the quality control system has been developed.

Контроль качества угля на всех этапах технологической цепочки — от добычи до конечного потребителя — относится к числу ключевых задач, обеспечивающих эффективность функционирования угольной отрасли. Особую сложность представляет контроль качества именно на этапе транспортировки, поскольку в этот период уголь подвергается воздействию множества факторов, способных существенно изменить его исходные характеристики. Для Кузбасса, на долю которого приходится порядка 60% общероссийской добычи угля и который исторически ориентирован на экспортные поставки, данная проблема приобретает особое значение: протяженные маршруты транспортировки (в том числе железнодорожным транспортом на расстояния до нескольких тысяч километров), сложные климатические условия, многократные перегрузки — все это формирует комплекс технологических вызовов, требующих системного решения.

Как представляется, существующие подходы к контролю качества угля при транспортировке в значительной степени унаследованы от советской системы стандартизации и не в полной мере учитывают современные технологические реалии. Традиционные методы отбора проб, лабораторного анализа и документального сопровождения грузов, разработанные для относительно коротких маршрутов и стабильных условий транспортировки, сегодня сталкиваются с рядом фундаментальных ограничений, связанных с масштабами перевозок, разнообразием марок угля и требованиями международных стандартов качества.

Для систематизации анализа технологических вызовов контроля качества угля при транспортировке нами разработана классификация проблем по группам, представленная в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация технологических вызовов контроля качества угля при транспортировке

Группа проблем	Конкретные вызовы
Проблемы отбора проб	Неоднородность угольной массы в транспортном средстве; сложность доступа к нижним слоям; риск сегрегации частиц по размеру и плотности; влияние человеческого фактора
Проблемы изменения качества в процессе транспортировки	Окисление угля при контакте с воздухом; потеря влаги при атмосферных воздействиях; поглощение влаги из атмосферы; механическое разрушение кусков; самовозгорание
Проблемы методов анализа	Длительность лабораторных исследований; расхождение результатов между разными лабораториями; невозможность оперативного получения данных; субъективность визуальной оценки
Проблемы документального сопровождения	Рассинхронизация данных о качестве на разных этапах маршрута; риск фальсификации сопроводительных документов; сложность идентификации партий при перевалках; отсутствие единой базы данных
Проблемы автоматизации контроля	Высокая стоимость онлайн-анализаторов; необходимость калибровки под конкретные марки угля; влияние внешних условий на точность измерений; дефицит квалифицированных специалистов
Экологические проблемы контроля	Пыление угля при отборе проб; потери угля при пробоотборе; воздействие реагентов, применяемых при анализе, на окружающую среду; шумовое воздействие
Организационные проблемы	Отсутствие единой методики контроля на всем маршруте; разграничение ответственности между поставщиком, перевозчиком и получателем; недостаточная координация действий

Проблема отбора репрезентативных проб является, как нам представляется, фундаментальной для всей системы контроля качества. Уголь, загружаемый в железнодорожный вагон или кузов автосамосвала, представляет собой существенно неоднородную массу: различия в гранулометрическом составе, зольности, влажности между верхними и нижними слоями могут достигать 15–20%. Традиционные методы отбора проб, предусматривающие отбор точек с поверхности или из ограниченного числа слоев, не обеспечивают репрезентативности пробы. Для решения этой проблемы применяются специальные пробоотборные устройства (шнековые пробоотборники, механические пробоотборники с поперечным сечением), однако их использование на кузбасских предприятиях пока не получило широкого распространения в силу высокой стоимости и необходимости специальной подготовки персонала.

Проблема изменения качества угля в процессе транспортировки особенно актуальна для Кузбасса с его протяженными маршрутами поставок. При транспортировке угля железнодорожным транспортом на расстояния свыше 2000 км (а именно такие расстояния характерны для поставок кузбасского угля в европейскую часть России и на экспорт через порты Дальнего Востока) происходят существенные изменения его характеристик. Окисление угля при контакте с воздухом ведет к снижению теплоты сгорания и изменению марки угля; потеря или поглощение влаги изменяет рабочую влажность; механическое воздействие при движении состава ведет к дополнительному измельчению и увеличению доли мелких классов. Все это означает, что качество угля в момент отгрузки и в момент прибытия к потребителю может существенно различаться, что создает почву для спорных ситуаций между поставщиком и потребителем.

Особую проблему представляет самовозгорание угля при транспортировке. Кузбасские угли, особенно марки Д и Г, склонны к самовозгоранию, и длительная транспортировка в условиях ограниченного доступа воздуха (в трюмах судов, закрытых вагонах) создает риски возгорания. Подобные инциденты не только ведут к потере продукции, но и создают серьезные угрозы безопасности, требуя применения специальных технологий ингибирования и мониторинга температуры.

Проблема автоматизации контроля качества является, по нашему мнению, наиболее перспективной с точки зрения технологического развития [1]. Современные онлайн-анализаторы качества угля, основанные на методах двойной энергии гамма-излучения (Dual Energy Gamma-Ray Transmission, DE-GRT), нейтронно-активационного анализа (Prompt Gamma Neutron Activation Analysis, PGNAA) или инфракрасной спектроскопии (Near-Infrared Spectroscopy, NIR), позволяют получать данные о зольности, влажности, теплоте сгорания и других характеристиках угля в режиме реального времени непосредственно в процессе транспортировки на конвейерных лентах. Однако применение

таких систем на кузбасских предприятиях пока ограничено в силу ряда факторов: высокой стоимости оборудования, необходимости регулярной калибровки под конкретные марки угля, влияния внешних условий (температура, влажность, запыленность) на точность измерений.

Для сравнения существующих технологий контроля качества угля при транспортировке нами проведен сравнительный анализ данных ГОСТов и технических спецификаций [2-4], представленный в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительный анализ технологий контроля качества угля при транспортировке

Технология	Принцип действия	Точность определения зольности	Время получения результата	Применимость в условиях Кузбасса
Ручной отбор проб с лабораторным анализом	Механический отбор точечных проб, лабораторное исследование по ГОСТ	±1,5–2,0%	4–24 часа	Ограниченная (не обеспечивает репрезентативность)
Механические пробоотборники	Автоматизированный отбор проб поперечным сечением потока	±1,0–1,5%	2–6 часов	Целесообразна на погрузочных терминалах
Онлайн-анализаторы на основе DE-GRT	Гамма-излучение двух энергий	±0,3–0,5%	В реальном времени	Целесообразна при больших объемах перевозок
Онлайн-анализаторы на основе PGNAA	Нейтронно-активационный анализ	±0,2–0,4%	В реальном времени	Целесообразна для экспортных терминалов
Инфракрасная спектроскопия (NIR)	Отражение инфракрасного излучения	±0,8–1,2% (только влажность)	В реальном времени	Целесообразна для контроля влажности
Рентгенофлуоресцентный анализ	Возбуждение характеристического излучения	±0,4–0,6%	В реальном времени	Целесообразна для контроля зольности

Как следует из таблицы 2, наиболее точные результаты обеспечивают онлайн-анализаторы на основе PGNAA и DE-GRT, однако их высокая стоимость ограничивает применение на кузбасских предприятиях. Механические пробоотборники представляют собой компромиссное решение, обеспечивающее приемлемую точность при умеренных затратах. Ручной отбор проб, несмотря на низкую стоимость, не обеспечивает необходимой репрезентативности и оперативности.

Экологические аспекты контроля качества угля при транспортировке также заслуживают отдельного рассмотрения. Процессы отбора проб, особенно ручного, сопровождаются значительным пылением, что создает риски для здоровья персонала и загрязнения окружающей среды. Потери угля при пробоотборе (так называемые «технологические потери») могут достигать 0,5–1,0% от общей массы партии, что в масштабах Кузбасса означает существенные объемы потерянного угля. Применение химических реагентов при лабораторном анализе (кислоты, щелочи, органические растворители) создает риски загрязнения сточных вод и почв при неправильном обращении.

Для систематизации технологических решений по совершенствованию контроля качества угля при транспортировке используем алгоритм, представленный в таблице 3.

Таблица 3 – Алгоритм совершенствования контроля качества угля при транспортировке

Этап	Содержание
1. Диагностика текущей системы контроля	Анализ существующих методов отбора проб
	Оценка точности и репрезентативности результатов
	Выявление узких мест в системе контроля
	Бенчмаркинг с лучшими практиками
	Анализ причин спорных ситуаций с потребителями
2. Выбор технологии контроля	Анализ объемов и маршрутов транспортировки
	Оценка требуемой точности и оперативности
	Сравнение технологий по критериям стоимость/ эффективность
	Учет специфики марок кузбасского угля
	Оценка экологических последствий
3. Проектирование системы контроля	Определение точек отбора проб на маршруте
	Выбор оборудования для пробоотбора и анализа
	Разработка регламентов отбора и анализа проб
	Проектирование системы документооборота
	Разработка системы мониторинга изменения качества
4. Внедрение и калибровка	Монтаж оборудования
	Калибровка под конкретные марки угля
	Обучение персонала

	Пилотная эксплуатация и корректировка
	Разработка системы метрологического обеспечения
5. Эксплуатация и мониторинг	Регулярный контроль качества
	Мониторинг точности и стабильности результатов
	Периодическая поверка и калибровка
	Анализ данных и совершенствование системы
	Оценка экологических последствий

В части совершенствования контроля качества угля при транспортировке в условиях Кузбасса нами предлагается ряд мер.

1. Внедрить механические пробоотборники на ключевых точках погрузки угля в железнодорожный транспорт. Подобные системы, как показывает международный опыт, существенно повышают репрезентативность проб и снижают влияние человеческого фактора на результаты контроля.

2. Установить онлайн-анализаторов качества на погрузочных терминалах портов Дальнего Востока и на ключевых перевалочных комплексах. Подобные системы, несмотря на высокую стоимость, окупаются за счет снижения числа спорных ситуаций с потребителями и повышения доверия к результатам контроля.

3. Активизировать научные исследования в области разработки методов и оборудования для контроля качества угля при транспортировке, адаптированных к специфике кузбасских углей. Подобные исследования, как показывает опыт ведущих горных вузов, позволяют создавать конкурентоспособные отечественные решения, способные заменить дорогостоящее импортное оборудование.

4. Создать региональный центр компетенций по контролю качества угля, оказывающего методическую поддержку предприятиям в вопросах выбора технологий, калибровки оборудования и подготовки персонала.

Таким образом, что контроль качества угля при транспортировке является комплексной технологической проблемой, которая требует системного решения, учитывающего специфику кузбасских углей и современные технологические возможности. К числу технологических вызовов, сопряженных с решением данной проблемой, относятся неоднородность угольной массы, изменение качества в процессе транспортировки, недостаточная автоматизация контроля и экологические последствия процессов пробоотбора. Внедрение мероприятий по совершенствованию контроля и применению современных технологий (механических пробоотборников, онлайн-анализаторов, систем цифрового документооборота) позволит угольным предприятиям Кузбасса повысить достоверность контроля качества и снизить число спорных ситуаций с

потребителями.

Список литературы

1. Вопросы совершенствования производственного контроля угледобывающих предприятий с подземным способом добычи / Т. Н. Гвоздкова, И. Д. Гвоздкова, Т. А. Тюленева, Е. О. Усова // Уголь. – 2020. – № 9(1134). – С. 4-9. – DOI 10.18796/0041-5790-2020-9-4-9. – EDN LTLULQ.

2. ГОСТ 10742-71. Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и угольные брикеты. Методы отбора и подготовки проб для лабораторных испытаний (с Изменениями № 1–4).

3. ГОСТ 11055-78. Угли бурые, каменные и антрацит. Радиационные методы определения зольности (с Изменениями № 1, 2).

4. Технические спецификации производителей оборудования (Thermo Fisher, Outotec, «Восток»)