

УДК 330.341 © А.П. Жабин¹, А.А. Шерстобитова², 2026UDC 330.341 © A.P. Zhabin¹, A.A. Sherstobitova², 2026¹ ФГАОУ ВО «Самарский государственный экономический университет, 443090, г. Самара, Россия¹ Samara State University of Economics, Samara, 443090, Russian Federation² ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 445020, г. Тольятти, Россия² Togliatti State University, Togliatti, 445020, Russian Federation

✉ e-mail: apzhabin@yandex.ru

✉ e-mail: apzhabin@yandex.ru

Совершенствование инструментов контроля качества угольной продукции

Enhancing the quality control tools for coal products

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2026-5-95-99>

В статье систематизированы методы контроля качества угольной продукции, выделены три группы: традиционные физико-химические, инструментальные автоматизированные и современные цифровые. Проанализированы их преимущества, ограничения и потенциал интеграции в единые системы управления качеством угольной продукции. На основе проведенного анализа разработаны рекомендации по совершенствованию инструментария контроля качества угольной продукции, включающие интеграцию исходных данных из разрозненных источников для их комплексной обработки, применение сенсорных систем непрерывного контроля ключевых параметров (зольности, влажности, теплотворной способности), внедрение методов прогнозирования отклонений качества на основе машинного обучения и создание многоуровневых систем мониторинга, объединяющих оперативный, централизованный и аналитический контроль. В статье приведены результаты внедрения современных систем по контролю качественных характеристик угля на предприятии Кузбасса, подтвердившие значительное снижение доли брака, сокращение времени анализа показателей и рост производительности труда.

Ключевые слова: контроль качества угля, физико-химические методы, цифровые технологии, сенсорные системы, машинное обучение, прогнозирование качества, системы мониторинга.

Для цитирования: Жабин А.П., Шерстобитова А.А. Совершенствование инструментов контроля качества угольной продукции // Уголь. 2026;(5):95-99. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-5-95-99.

Abstract

The article systematizes methods to control the quality of coal products, dividing these methods into three groups, i.e. the conventional physicochemical, instrumental automated, and modern digital methods. Their advantages, limitations, and potential for integration into a unified coal product quality management system have been analyzed. Based on the analysis, recommendations have been developed to enhance the tools to control the quality of coal products, including integration of original data from separate sources for comprehensive processing;

ЖАБИН А.П.

Профессор Института менеджмента ФГАОУ ВО «Самарский государственный экономический университет, 443090, г. Самара, Россия, e-mail: apzhabin@yandex.ru

ШЕРСТОБИТОВА А.А.

Канд. экон. наук, доцент, руководитель департамента магистратуры (бизнес-программ) Института финансов, экономики и управления ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 445020, г. Тольятти, Россия, e-mail: ya_anya@mail.ru

application of sensor systems for continuous monitoring of the key parameters (ash content, moisture content, calorific value); introduction of methods to predict quality deviations based on machine learning; and creation of multi-level monitoring systems that combine operating, centralized and analytical control. The article presents the results of implementing modern systems to control the quality characteristics of coal at a Kuzbass enterprise, which confirmed a significant reduction in the share of rejects, a reduction in the time required to analyze the indicators, and an increase in labour productivity.

Keywords

Coal quality control, physicochemical methods, digital technologies, sensor systems, machine learning, quality prediction, monitoring systems.

For citation

Zhabin A.P. Sherstobitova A.A. Enhancing the quality control tools for coal products. *Ugol'*. 2026;(5):95-99. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2026-5-95-99.

ВВЕДЕНИЕ

Качество угольной продукции оказывает непосредственное влияние на эксплуатационные характеристики оборудования, энергетическую эффективность и уровень экологической нагрузки при ее использовании. Изменчивость физико-химических свойств угля, вариации размеров частиц и содержание примесей создают дополнительные сложности при обеспечении стабильного качества продукции.

В научных исследованиях рассматриваются как традиционные методы контроля качества угля – измерение влажности, зольности, теплотворной способности и гранулометрического состава, так и современные подходы, основанные на цифровых технологиях, автоматизации и сенсорных системах [1, 2, 3, 4]. Анализ публикаций показывает, что внедрение комплексных цифровых инструментов мониторинга и прогнозирования качества угля остается фрагментарным. На практике предприятия используют отдельные автоматизированные решения.

Научная проблема исследования заключается в недостаточной систематизации и методологическом обеспечении инструментов контроля качества угольной продукции, способных обеспечивать непрерывную оценку, мониторинг и прогнозирование показателей качества с учетом современных технологических и цифровых возможностей.

Цель исследования – определить направления совершенствования инструментов контроля качества угольной продукции, ориентируясь на актуальные технологические и цифровые тренды.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Систематизировать существующие методы и инструменты контроля качества угля, выявить их преимущества, ограничения и потенциал интеграции с современными цифровыми технологиями.

2. Разработать рекомендации по совершенствованию инструментов оценки, мониторинга и прогнозирования качества угольной продукции, направленные на повышение точности измерений, оперативности принятия решений и управляемости производственного процесса.

РЕЗУЛЬТАТЫ**История развития методов контроля качества угольной продукции в России**

История развития методов контроля качества угольной продукции в России насчитывает более двухсот лет и тесно связана с развитием самой угольной промышленности. С момента издания указа Петра I в 1722 г., повелевшего искать каменный уголь в южных регионах Российской империи, начались систематическая разработка и внедрение методов оценки и контроля качества угля. В XVIII–XIX веках основное внимание уделялось физико-химическим методам анализа, таким как определение влажности, зольности и теплотворной способности угля.

В XX веке, с развитием горного дела и угольной промышленности, появились новые методы контроля качества. В 1936 г. в Туле был образован Подмосковский научно-исследовательский угольный институт, который стал заниматься разработкой методов оценки качества угля, а также созданием новых технологий добычи и переработки угля. В 1960–1980 годах в Советском Союзе активно развивались методы автоматизации контроля качества, включая создание систем телеметрического контроля концентрации метана и систем диспетчерского управления проветриванием шахт. В этот период также были разработаны специальные предохранительные взрывные патроны для угольных шахт, опасных по газу и пыли.

С переходом к цифровым технологиям в конце XX – начале XXI века в угольной промышленности России началась интеграция современных методов контроля качества, таких как использование сенсорных систем, спектрометрии и методов машинного обучения.

Систематизация методов и инструментов контроля качества угля

Контроль качества угля осуществляется с использованием методов различной природы, которые можно разделить на три группы: традиционные физико-химические методы, инструментальные автоматизированные методы и современные цифровые методы анализа и мониторинга. Каждая группа методов имеет свои преимущества и ограничения, а также различный потенциал интеграции в цифровые системы управления качеством (табл. 1).

Современные тренды в контроле качества угля связаны с переходом от разрозненных лабораторных и инструментальных методов к комплексным цифровым решениям, позволяющим объединять измерения, обработку данных и прогнозирование качества в рамках единой управленческой системы [9].

Рекомендации по совершенствованию инструментов оценки, мониторинга и прогнозирования качества угольной продукции

Совершенствование инструментов контроля качества угольной продукции должно основываться на принципах комплексного подхода, включающего интеграцию лабораторных, инструментальных и цифровых методов, а также на применении современных информационных технологий для обработки и анализа данных.

Сравнение методов контроля качества угля
Comparison of the coal quality control methods

Группа методов	Основные инструменты	Преимущества	Ограничения	Потенциал интеграции с цифровыми технологиями
Традиционные физико-химические	Лабораторный анализ влажности, зольности, летучих веществ, теплотворной способности	Высокая точность, нормативная база	Длительное время анализа, трудоемкость, отсутствие непрерывности	Низкий (ограничено автоматизированной регистрацией данных)
Инструментальные автоматизированные	Спектрометрия, термогравиметрия, сенсорные системы, дефектоскопия	Быстрота получения данных, снижение субъективного фактора	Высокая стоимость, необходимость квалификации	Средний (частичная интеграция с системами управления производством)
Цифровые методы	Системы мониторинга в реальном времени, машинное обучение, большие данные	Непрерывный контроль, прогнозирование отклонений, повышение управляемости	Высокая стоимость внедрения, сложность адаптации	Высокий (полная интеграция с цифровыми системами предприятия)

Составлено авторами по данным источников [5, 6, 7, 8].

Интеграция данных и автоматизация измерений. Рекомендуется объединять результаты лабораторных и инструментальных анализов в единую информационную систему предприятия, что позволит сократить задержки при передаче данных, снизить вероятность ошибок и обеспечить возможность сопоставления показателей качества угля с технологическими параметрами производства в режиме реального времени [10]. Использование сенсорных систем и автоматизированных датчиков на линиях переработки и транспортировки угля создает условия для непрерывного контроля показателей угольной продукции, а специальное программное обеспечение и серверы обеспечивают хранение и обработку данных.

Применение методов прогнозирования качества. Для оценки вероятных отклонений рекомендуется внедрять алгоритмы анализа временных рядов и модели машинного обучения, способные прогнозировать изменения физических и химических свойств угля на основе текущих и исторических данных. Прогнозирование позволяет заранее корректировать технологические процессы, предотвращая снижение качества продукции [11].

Разработка многоуровневой системы мониторинга. Эффективным решением является создание многоуровневой системы контроля качества, включающей:

- оперативный контроль отдельных параметров угля на производственных участках;
- централизованную обработку данных для управления процессами;
- аналитический уровень, на котором формируются рекомендации для оптимизации технологических режимов и стратегического планирования производства [12].

Повышение управляемости производственного процесса. Совершенствование инструментов контроля должно способствовать не только фиксации отклонений в показателях качества продукции, но и их анализу с точки зрения причинно-следственных связей. Внедрение визуализации данных, дашбордов и интеграция с системами планирования ресурсов предприятия (ERP-системами) направлены на своевременное принятие решений, оптимизацию использования ресурсов и повышение стабильности технологических процессов [13].

Адаптация к условиям эксплуатации и стандартизация процедур. Рекомендуется разрабатывать алгоритмы и процедуры измерений, учитывающие особенности добычи и переработки конкретных марок угля (табл. 2). Стандартизация методов контроля и единых протоколов передачи данных обеспечивает сопоставимость резуль-

Таблица 2

Рекомендации по совершенствованию инструментов контроля качества угольной продукции

Recommendations for enhancing the quality control tools for coal products

Инструмент / метод	Цель применения	Ожидаемый эффект
Сенсорные системы и автоматизированные датчики	Непрерывное измерение физических и химических свойств угля	Сокращение времени получения данных, снижение влияния субъективного фактора
Интеграция лабораторных и инструментальных данных в единую информационную систему	Централизованная обработка и сопоставление показателей качества с технологическими параметрами	Повышение точности контроля, оперативность принятия управленческих решений
Методы прогнозирования на основе анализа временных рядов и машинного обучения	Предсказание отклонений качества и заблаговременная корректировка технологических режимов	Снижение числа дефектов, стабильность качества продукции
Визуализация данных и дашборды	Обеспечение управляемости и оперативного анализа состояния качества	Ускорение принятия решений, наглядность анализа
Стандартизация процедур измерений и алгоритмов обработки данных	Сопоставимость результатов между подразделениями, уменьшение влияния человеческого фактора	Системный и устойчивый контроль качества

Составлено авторами.

татов между различными подразделениями предприятия и уменьшает влияние человеческого фактора [14].

Комплексное внедрение автоматизированных сенсорных систем, цифровой обработки данных и методов прогнозирования создает условия для повышения точности измерений, сокращения времени реагирования на изменения качества продукции и обеспечения управляемости производственного процесса. Реализация этих рекомендаций позволит сформировать системный подход к контролю качества угольной продукции, согласующий технологические и аналитические уровни управления.

Для реализации предложенных рекомендаций используются различные типы сенсорных систем. На производственных линиях угольных предприятий применяются датчики влажности (емкостные, инфракрасные), датчики зольности (нейтронные и рентгенофлуоресцентные), спектрометрические анализаторы летучих веществ и теплотворной способности (например, инфракрасные и гамма-спектрометры), а также датчики гранулометрического состава (лазерные и оптические). Их интеграция в автоматизированные системы позволяет получать данные в реальном времени и формировать единую информационную базу для управления качеством.

Программное обеспечение для обработки и анализа данных включает как универсальные платформы, так и специализированные системы для угольной промышленности. На российском рынке представлены разработки, обеспечивающие независимость технологического процесса от зарубежных решений.

Использование российских решений обеспечивает технологическую независимость, снижает риски перебоев с поддержкой и совместимостью оборудования, а также позволяет адаптировать системы контроля к специфике отечественной добычи и переработки угля. Комплексное внедрение датчиков, программного обеспечения и методов прогнозирования создает условия для непрерывного мониторинга качества, оперативного принятия решений и повышения управляемости производственного процесса [15].

Внедрение современных сенсорных систем контроля качества угля в Кузбассе привело к значительным улучшениям в различных аспектах производства. На разрезах «Восточный» и «Сугодинский» компании «Сибантрацит» установлены системы мониторинга, включающие датчики влажности, зольности и других параметров угля. После установки автоматизированных спектрометрических анализаторов и интеграции их с системой управления производством было отмечено:

- снижение доли отклонений от нормативных значений с 5 до 1,5% за счет более точного и своевременного контроля качества угля;
- увеличение производительности на 8% благодаря оптимизации технологических процессов и более эффективному использованию ресурсов;
- сокращение времени на анализ качества с 24 ч до 1 ч, что позволило оперативно реагировать на изменения в качестве продукции;

- снижение затрат на лабораторные исследования на 15% за счет уменьшения необходимости в ручных анализах и повышения эффективности работы лабораторий [15].

Эти данные подтверждают, что внедрение современных технологий контроля качества угля в Кузбассе способствует значительному улучшению показателей производства и повышению общей эффективности предприятий.

ВЫВОДЫ

Процесс контроля качества угля предусматривает применение традиционных физико-химических методов, инструментальных автоматизированных и цифровых систем мониторинга показателей. Физико-химические методы обеспечивают высокую точность измерений, но требуют значительного времени и не позволяют вести непрерывный контроль качества продукции. Инструментальные методы ускоряют получение данных и снижают субъективность оценок, однако характеризуются высокой стоимостью. Цифровые методы, включая сенсорные системы, анализ больших данных и алгоритмы машинного обучения, обеспечивают непрерывный контроль качественных характеристик угля, прогнозирование отклонений и высокую управляемость производственных процессов. Эффективное сочетание всех трех групп методов позволяет создать комплексную систему контроля качества.

Рекомендации по совершенствованию инструментов контроля качества включают интеграцию лабораторных и инструментальных данных в единую информационную систему, применение автоматизированных датчиков и сенсорных систем, использование методов прогнозирования отклонений качества, стандартизацию процедур измерений и визуализацию данных для оперативного управления. На примере предприятия Кузбасса «Сибантрацит» показано, что внедрение этих инструментов привело к снижению доли отклонений от нормативных показателей с 5 до 1,5%, увеличению производительности труда на 8%, сокращению времени на анализ качества с 24 ч до 1 ч и снижению затрат на лабораторные исследования на 15%.

Список литературы • References

1. Цивилев С.Е. Современные технологии – залог устойчивого развития угольных предприятий // Уголь. 2023;(8):7-8. URL: <https://ugolinfo.ru/Jour/082023.pdf>.
Tsvilev S.E. Modern technologies are the key to the sustainable development of Kuzbass coal enterprises. *Ugol'*. 2023;(8):7-8. (In Russ.). URL: <https://ugolinfo.ru/Jour/082023.pdf>.
2. Анисимова М.А., Быкова Т.А., Нуждин Г.А. Контроль качества производства // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2022. № 12. С. 543-547. DOI: 10.36652/0202-3350-2022-23-12-543-547.
Anisimova M.A., Bykova T.A., Nuzhdin G.A. Production quality control. *Sbornka v mashinostroenii, priborostroenii*. 2022;(12):543-547. (In Russ.). DOI: 10.36652/0202-3350-2022-23-12-543-547.
3. Фомин А.И., Волгина Е.А. Человеческий фактор в обеспечении промышленной безопасности на предприятиях угольной промышленности // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2024. № 51. С. 49-55. DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.51.29.007.

- Fomin A.I., Volgina E.A. Human factor in ensuring industrial safety at coal industry enterprises. *Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoj bezopasnosti*. 2024;(S1):49-55. (In Russ.). DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.51.29.007.
4. Новые угольные технологии: тенденции и перспективы / С.М. Никитенко, Е.В. Гоосен, М.К. Королев и др. // Уголь. 2022;(S12):4-10. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-4-10.
Nikitenko S.M., Goosen E.V., Korolev M.K., Mesyats M.A., Fedulova E.A., Kononova S.A. New coal technologies: trends and prospects. *Ugol'*. 2022;(S12):4-10. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-4-10.
 5. Трясучкина К.В., Назарова И.Т. Анализ методов и средств контроля качества продукции на промышленном предприятии // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 87-2. С. 107-109. DOI: 10.18411/trnio-07-2022-64.
Tryasuchkina K.V., Nazarova I.T. Analysing methods and tools for product quality control at an industrial enterprise. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2022;(87-2):107-109. (In Russ.). DOI: 10.18411/trnio-07-2022-64.
 6. Kobilov Kh. Laboratory research of coal briquette quality indicators. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1112(1):012007. DOI: 10.1088/1755-1315/1112/1/012007.
 7. Наугольнова И.А. Факторы и инструменты снижения затрат на промышленных предприятиях // Перспективы науки. 2015. № 8(71). С. 123-127.
Naugolnova I.A. Factors and instruments to reduce costs in industrial enterprises. *Perspektivy nauki*. 2015;(8):123-127. (In Russ.).
 8. Теслюк В.С., Черноситова Е.С. Актуальные подходы к управлению качеством на современных предприятиях // КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. 2022. № 2. С. 68-71.
Teslyuk V.S., Chernositova E.S. Current approaches to quality management in modern enterprises. *KIP i avtomatika: obsluzhivanie i remont*. 2022;(2):68-71. (In Russ.).
 9. От экономического роста к устойчивому развитию России: гипотезы, концепции, практики: монография / С.В. Беляева, А.С. Васильева, Д.В. Гавчук и др. Самара: НИЦ «ПНК», 2024. 237 с.
 10. Kryukov V.A., Fridman Yu.A., Kryukov Ya.V. et al. Kuzbass: the routes to cope with systemic challenges. Coal Chemistry and Ecology of Kuzbass: XII International Russian-Kazakh Symposium, Kemerovo, 03–06 июля 2023 года. RUS: Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, 2023. P. 53.
 11. Технический контроль как инструмент повышения конкурентоспособности продукции комбината / В.Ю. Кудрявцев, Т.Ю. Галасс, И.С. Степанова и др. // Горный журнал. 2022. № 6. С. 49-53. DOI: 10.17580/gzh.2022.06.05.
Kudryavtsev V.Yu., Galass T.Yu., Stepanova I.S., Drobyshev A.A. Technical control as a tool for improving the competitiveness of the plant's products. *Gornyj zhurnal*. 2022;(6):49-53. (In Russ.). DOI: 10.17580/gzh.2022.06.05.
 12. Мишин С.А., Горбунова А.Р. Анализ влияния способов и средств угледобычи на качество угольной продукции // Научно-технологические разработки и использования минеральных ресурсов. 2023. № 9. С. 113-118.
Mishin S.A., Gorbunova A.R. Analyzing the impact of coal mining methods and equipment on the quality of coal products. *Naukoemkie tehnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*. 2023;(9):113-118. (In Russ.).
 13. Галуза Е.С. Качество – это когда возвращается потребитель, а не продукция // Стандарты и качество. 2022. № 7. С. 72-74.
Galuzha Ye.S. Quality is when the consumer returns, not the product. *Standarty i kachestvo*. 2022;(7):72-74. (In Russ.).
 14. Розно М.И. Встроенное качество vs контроль: альтернатива или дополнение? // Методы менеджмента качества. 2025. № 6. С. 18-23.
Rozno M.I. Built-in quality vs. control: alternative or supplement? *Metody menedzhmenta kachestva*. 2025;(6):18-23. (In Russ.).
 15. Хлынин Э.В., Сорвина О.В. Основные направления совершенствования контроля качества продукции горно-металлургических компаний // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 4. С. 734-748.
Khlynin E.V., Sorvina O.V. The basic directions for improving quality control of products of mining and metallurgical companies. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2023;(4):734-748. (In Russ.).

Authors Information

Zhabin A.P. – Professor at the Institute of Management, Samara State University of Economics, Samara, 443090, Russian Federation, e-mail: apzhabin@yandex.ru

Sherstobitova A.A. – PhD (Economics), Head of the Department of Graduate Studies (Business Programs) Institute of Finance, Economics and Management, Togliatti State University, Togliatti, 445020, Russian Federation, e-mail: ya_anya@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 24.08.2025

Поступила после рецензирования: 16.04.2026

Принята к публикации: 30.04.2026

Paper info

Received August 24, 2025

Reviewed April 16, 2026

Accepted April 30, 2026