Оригинальная статья

Original Paper

УДК 622.7:622.33 © Р.М. Штейнцайг✉, В.В. Цатуров, К.М. Дубравина, 2026

UDC 622.7:622.33 © R.M. Shteintsaig✉, V.V. Tsaturov, K.M. Dubravina, 2026

ООО «Южная угольная компания, 119034, г. Москва, Россия
✉ e-mail: 9918521@maiL.ru

South Coal Company LLC, Moscow, 119034, Russian Federation
✉ e-mail: 9918521@maiL.ru

О новых способах и средствах производства твердого топлива на основе мелкофракционного сырья

On new methods and means of producing solid fuel from fine-grained raw materials

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2026-9-21-24

Комбайно-механизированная подземная угледобыча определяет высокую нагрузку на очистной забой, но сопряжена с переизмельчением добываемой горной массы. Интеллектуализация рабочего процесса с обеспечением рациональных режимов резания, при условии исключения субъективного влияния «человеческого фактора» на результирующие показатели, позволяет минимизировать выход мелкофракционного материала.

Традиционные методы «мокрого обогащения» этого сырья заметно снижают зольность производимого твердого топлива при неизбежности увеличения его влажности, что ухудшает качество товарной продукции. Применяемые в практике способы и средства обезвоживания мелкофракционного материала, главным образом за счет теплогенераторов топочных газов, характеризуются повышенными капзатратами, низкой эксертетической эффективностью, жесткими требованиями к обеспечению безопасных условий труда. Создание и освоение в практике теплогенераторов на основе безроторных турбодетандеров нивелируют недостатки и, как минимум, кратно повышает степень обезвоживания мелкофракционного материала по сравнению с известными альтернативными методами.

Помимо прочего, обезвоживаемый таким образом угольный штыб, как показывает вычислительный эксперимент, на последующей стадии технологического передела может быть эффективно облагорожен за счет сепарации весьма мелких и наиболее зольных фракций с использованием установок, основанных на вихревом эффекте Ранка.

Предлагаемые новые способы и средства кардинального повышения товарных характеристик производимой продукции могут быть эффективно реализованы, например, при освоении ресурсной базы весьма крупного Сулино-Садкинского месторождения антрацита в Восточном Донбассе, что дает основания полагать значимой практическую ценность результатов изысканий.

Ключевые слова: *мелкофракционное угольное сырье; научно-практическая актуальность производства высококачественного твердого топлива; освоение безроторных турбодетандеров при облагораживании исходного материала, прошедшего стадию «мокрого обогащения»; концепция практического применения вихревого эффекта Ранка при*

ШТЕЙНЦАЙГ Р.М.
Заместитель председателя Совета директоров
ООО «Южная угольная компания», 119034, г. Москва, Россия,
e-mail: 9918521@maiL.ru

ЦАТУРОВ В.В.
Генеральный директор
ООО «Южная угольная компания», 119034, г. Москва, Россия,
e-mail: tsaturov@gor-tech.ru

ДУБРАВИНА К.М.
Начальник управления Контроля качества
ООО «Южная угольная компания», 119034, г. Москва, Россия,
e-mail: dubravina@sadkinskoe.ru

обезвоживании и уменьшении зольности производимого товара; эксергетическая эффективность, экологическая приемлемость, безопасность и экономичность предлагаемых новых способов и средств.

Для цитирования: Штейнцайг Р.М., Цатуров В.В., Дубравина К.М. О новых способах и средствах производства твердого топлива на основе мелкофракционного сырья // Уголь. 2026;(9):21-24. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-9-21-24.

Abstract

Mechanized underground coal mining with continuous miners places a heavy load on the working face, but it is associated with over-crushing of the mined rock mass. Smart optimization of the operating process through ensuring rational cutting parameters while eliminating the subjective impact of the 'human factor' on the resulting performance metrics makes it possible to minimize the yield of fine-grained material.

The conventional wet washing methods applied to this raw material significantly reduce the ash content of the produced solid fuel, while inevitably increasing its water content, which deteriorates the quality of the commercial product.

The currently used methods and means of dewatering fine-particle material, primarily through flue gas heat generators, are characterized by high capital costs, low exergetic efficiency, and strict requirements towards ensuring safety of the working conditions.

Development and practical implementation of heat generators based on reciprocating turbo-expanders helped to overcome these shortcomings and, at least, it significantly increases the efficiency of moisture removal from fine-grained materials compared to known alternative methods.

Among other things, as shown by a computational experiment, the coal slack dewatered in this manner can be efficiently refined during a subsequent processing stage by separating the very fine and highest ash fractions using equipment based on the Ranque vortex effect.

The proposed new methods and means for radical improvement of the commercial characteristics of the end products can be successfully implemented, for example, in mining resources of the very large Sulino-Sadkinsky anthracite deposit in the Eastern Donbas, which gives good reasons to believe in the significant practical value of the research results.

Keywords

Fine coal, scientific and practical relevance of producing high-quality solid fuel, development of reciprocating turbo-expanders for processing of raw materials that passed the wet washing stage, a concept of the practical application of the Ranque vortex effect in dewatering and reducing the ash content in the commercial product, exergetic efficiency, environmental acceptability, safety and cost-effectiveness of the proposed new methods and means.

For citation

Shteintsaig R.M., Tsaturov V.V., Dubravina K.M. On new methods and means of producing solid fuel from fine-grained raw materials. *Ugol'*. 2026;(9):21-24. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2026-9-21-24.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из крупнейших в России является Сулино-Садкинское месторождение антрацита в Восточном Донбассе, значительная часть ресурсной базы которого осваивается предприятиями группы «Южная угольная компания» [1, 2].

В числе приоритетов повышения здесь эффективности подземной угледобычи и последующего выпуска на основе добываемого сырья высококачественной товарной продукции следует отметить актуальную научно-практическую задачу минимизации выхода мелкофракционного угольного сырья при ведении очистных работ, с одной стороны, и производство твердого топлива с конкурентноспособными характеристиками с использованием некоторого неизбежно образующегося количества этого сырья с относительно невысокими товарными качествами.

Реализация первой составляющей упомянутой задачи достижима при освоении в практике очистной выемки рациональных режимов и параметров рабочего процесса добычных комбайнов, когда за счет интеллектуализации управления этим процессом нивелируется негативное влияние на результирующие показатели несвоевременности принятия решения и/или недостаточного квалификационного уровня обслуживающего персонала [3].

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Функционирование интеллектуальных систем управления возможно при наличии надежной расчетной «Базы знаний» [3], разработанной с учетом систематизированных и обобщенных результатов ранее проведенных независимых изысканий, а также на основе установленных впервые корреляционных связей между параметрами рабочего процесса и характеристиками породо-угольного массива, отрабатываемого комбайно-механизированным комплексом. Эмпирика выявленных и используемых в «Базе знаний» расчетных взаимосвязей в настоящее время детализируется применительно к изменяющимся характерным горнотехническим условиям производства очистных работ с одновременным тестированием разработанной методики прогнозирования мелкоамплитудной нарушенности и структуры эксплуатируемой ресурсной базы минерального ископаемого [4].

Вместе с тем накопленный опыт отработки и специфика строения продуктивного пласта Сулино-Садкинскоего месторождения антрацита с весьма близкими геомеханическими характеристиками чистых угольных пачек и напластований вмещающих пород [4], как показывают результаты вычислительного эксперимента с использованием сформированной «Базы знаний», в наиболее благоприятной обстановке обеспечивают выход в рабочем процессе мелкофракционного материала на уровне не менее 27-29%. По мере транспортировки отбитой горной массы к местам сортировки, переработки и фракционной классификации в цепи аппаратов «мокрого» углеобогащения количество мелочи (до 6 мм) в общем объеме производимой товарной продукции кратно возрастает.

При этом наибольшим зольным засорением в производимом штыбе характеризуется фракция до 1,0-1,2 мм,

сепарация которой гипотетически возможна, но неизбежно сопровождается опережающими потерями полезного компонента при существенно возрастающих эксплуатационных издержках в процессе «мокрой» сепарации.

Это обстоятельство актуализирует вторую составляющую в упомянутой в преамбуле одной из приоритетных задач повышения результирующих показателей эффективности подземной угледобычи.

Применительно к штыбовой группе товарной продукции установлена корреляционная связь между теплотворной способностью производимого твердого топлива с его зольностью и влагой [3].

Поскольку, как отмечалось выше, заметное повышение товарного качества твердого топлива за счет сепарации весьма зольной и переизмельченной части исходного материала не обеспечивает требования ресурсосбережения и экономичности процесса, казалось бы, вполне очевидной становится ориентация на уменьшение влажности штыбов, прошедших стадию «мокрого» обогащения.

Известны прецеденты решения этой задачи путем эволюционного совершенствования техники и технологии углеобогащения и обезвоживания производимой продукции. Но даже наиболее успешные решения (например, за счет применения S-образных высокочастотных грохотов) позволяют снизить влажность обогащенного штыба не более чем на 1,5-2,0%

Кроме того, достаточно широкое распространение в практике получили сушильные комплексы с использованием в качестве теплогенераторов газовых или угольных котельных. Здесь во вращающемся вокруг своей оси процессоре цилиндрической формы (соотношение диаметра и длины примерно 1:9), имеющем слабый наклон (до 4 град.) в сторону разгрузочного торца, в согласном потоке топочного газа перемещается обезвоживаемый материал. На практике это позволяет в лучшем случае на 60-70% снизить влажность конечной продукции.

Обезвоживание мелкофракционного угля позволяет вовлекать в активный оборот переувлажненные штыбы, промпродукты и аналоги этой низкокачественной товарной продукции, образование которой неизбежно сопровождает производство высокосортного товара в традиционных технологиях «мокрого» обогащения.

Вместе с тем, эксергетическая эффективность [2, 6] такого процесса практически недостижима. Нонсенс в том, что для производства теплоагента необходимо использовать ранее произведенный теплоноситель с сопоставимой энергоемкостью при весьма низком КПД процесса его сжигания в топочных устройствах: на уровне до 43% для угольных котельных и до 65% – для газовых (сырье для последних еще необходимо поставить извне и накопить в соответствующих хранилищах).

Помимо достаточно высокой стоимости сушильных агрегатов рассматриваемого типа их применение сопряжено со значительными издержками, требует специальных инженерных решений и организационных мер для обеспечения безопасности эксплуатации (в том числе устройство защитных искрогасящих экранов при наддуве топочных газов в активную зону процессора).

Невозможность поддержания постоянного температурного градиента по всей протяженности активной зоны процессора (до разгрузочного торца примерно 30-40 м при производительности до 500-600 т/ч) для обеспечения влагоотдачи требуется подача перегретого топочного газа, что определяет необходимость интенсивного охлаждения контура подводящих коммуникаций с использованием внешних хладогентов.

Вместе с тем есть основание полагать, что эксергетическая эффективность, экологическая приемлемость, минимизация капзатрат, эксплуатационных издержек и безопасность процесса обезвоживания мелкофракционного переувлажненного материала представляются возможными при практической реализации концепции применения безроторных турбодетандеров (трубки Ранка-Хилша) в качестве теплогенераторов в сушильных установках качественно нового технико-технологического уровня.

Такого рода устройства представляют собой цилиндрические процессоры колонного типа, верхняя загрузка которых исходным сырьем осуществляется с помощью норийных элеваторов (возможно, багер элеваторов).

Под действием гравитационных сил исходный материал в противотоке с горячим потоком воздуха перемещается в донную зону процессоров для разгрузки обезвоженной продукции. Потоки горячего воздуха в активной зоне процессоров формируются с использованием трубок Ранка-Хилша, равномерно рассредоточенных по окружности основания процессоров и по спиральной образующей по их высоте (это обеспечивает постоянство температурного режима по всему объему процессоров).

В соответствии с реологической моделью Бингама-Шведова в рабочей зоне процессоров происходит отрыв внешней поверхности воды с последующим частичным выделением капиллярной влаги из наиболее мелких фракций, оставляя пористой структуру обезвоживаемого материала. Гравитационное давление в процессорах колонного типа сжимает и разрушает эту пористость, создавая поперечно связную структуру, препятствующую повторному расширению.

Вследствие этого формируется плотный гидрофобный конечный продукт, представленный конгломератом отдельностей исходных фракций с соответствующей зольностью.

Простейшее математическое моделирование дает основание полагать, что при температуре горячего потока 100-120°С при высоте процессора до 6-8 м возможно, как минимум, двукратное снижение влажности обезвоживаемого материала.

Холодный поток, генерируемый в трубках Ранка-Хилша, очевидно, может быть использован при охлаждении внешнего контура процессоров, приводя в равновесное состояние исходную среду [6].

Убедительно обоснованная физическая сущность вихревого эффекта Ранка [6, 7] позволяет предложить концепцию качественно нового способа вторичного глубокого обогащения штыбов, прошедших предварительную «мокрую» переработку с последующим интенсивным их обезвоживанием (как это описано выше) за счет сепара-

ции наиболее зольных, весьма мелких (до 1,2 мм) фракций в разнонаправленных периферийном и осевом потоках предварительно сжатого и расширяющегося в безроторном турбодетандере воздуха, насыщенного угольным сырьем, при температурном разделении воздушных потоков, сопровождающем обмен энергией (работой) и теплотой. При оценке степени ресурсосбережения и прогрессивности концепции применения безроторных турбодетандеров в процессах облагораживания штыбов следует принять к сведению, что преобразование электроэнергии в механическую работу компрессоров для сжатия воздуха сопровождается потерями в 12-15%. Это, как минимум, в 2,5-3,0 раза меньше по сравнению с альтернативой, предусматривающей применение топочных термогенераторов (расход электроэнергии для производства 1 тыс. м^3 сжатого воздуха составляет около 100 кВт×ч против примерно 20 кг условного топлива с теплотворной способностью 7000 ккал/кг). Характерно, что до 90% тепла, выделяемого при сжатии воздуха и классифицируемого как энергопотери, за счет рекуперации может быть направлено в основной технологический горячий поток, формируемый трубками Ранка-Хилша.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя изложенное, надо полагать, что предлагаемые новые решения актуальной научно-практической задачи совершенствования техники и технологии способствуют достижению цели качественного улучшения баланса товарной продукции при освоении весьма значимой природной ресурсной базы ценного минерального ископаемого.

Список литературы • References

1. Саркисов Г.Р., Демерджи Р.Г., Штейнцайг Р.М. Перспективы развития на предприятиях «Южной угольной компании» // Уголь. 2009;(12):3-6. URL: https://ugolinfo.ru/Free/122009.pdf (дата обращения: 15.08.2026).
   Sarkisov G.R., Demerdzhi R.G., Shteintsaig R.M. Prospects of development at enterprises «Juzhnaja ugolnaja company». *Ugol'.* 2009;(12):3-6. (In Russ.). Available at: https://ugolinfo.ru/Free/122009.pdf (accessed 15.08.2026).
2. Штейнцайг Р.М., Цатуров В.В. К вопросу о перспективности угольной электрогенерации // Уголь. 2025;(8):76-80. DOI: 10.18796/0041-5790-2025- 8-76-80.
   Shteintsaig R.M., Tsaturov V.V. On the prospects of coalfired power generation. *Ugol'.* 2025;(8):76-80. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-8-76-80.
3. Цатуров В.В. Интеллектуализация управления процессами добычи угольного сырья и производства товарной продукции // Уголь. 2025;(9):72-76. DOI: 10187796/0041-5790-2025-9-72-76.
   Tsaturov V.V. Smart management of coal mining and commercial production processes. *Ugol'.* 2025;(9):72-76. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-9-72-76.
4. Цатуров В.В., Шурыгин Д.Н. Прогнозирование тектонической нарушенности пологопадающих угольных пластов // Уголь. 2026;(2):50-52. DOI: 10.187796/0041-5790-2026-2-50-52.
   Tsaturov V.V., Shurygin D.N. Predicting tectonic faults in gently dipping coal seams. *Ugol'.* 2026;(2):50-52. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2026-2-50-52.
5. Штейнцайг Р.М., Цатуров В.В., Дубравина К.М. Приоритеты совершенствования техники и технологии при эксплуатации Сулино-Садкинского месторождения антрацита // Уголь. 2026;(3):94-98. DOI: 10.187796/0041-5790-2026-3-94-98.
   Shteintsaig R.M., Tsaturov V.V., Dubravina K.M. Priorities for improving methods and technologies in the operation of the Sulino-Sadkinskoye anthracite deposit**.** *Ugol'.* 2026;(3):94-98. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2026-3-94-98.
6. Шаргут Я., Петела Р. Эксергия. М.: Энергия,1968.
7. Кузнецов В.И., Макаров В.В., Шандер А.Ю. Физико-математическая модель рабочего процесса вихревой трубы // Омский научный вестник. 2021. Т. 5. № 2. С. 78-87.
   Kuznetsov V.I., Makarov V.V., Shander A.Yu. Physics and mathematics model of vortex tube working process. *Omskij nauchnyj vestnik.* 2021;(2):78-87. (In Russ.).

Authors Information

Shteintsaig R.M. – Vice-President of the Board of Directors of the South Coal Company LLC, Moscow, 119034, Russian Federation, e-mail: 9918521@mail.ru

Tsaturov V.V. – General Director of the South Coal Company LLC, Moscow, 119034, Russian Federation, e-mail: tsaturov@gor-tech.ru

Dubravina K.M. – Head of Quality Control Department of the South Coal Company LLC, Moscow, 119034, Russian Federation, e-mail: dybravina@sadkinskoe.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 25.05.2026
Поступила после рецензирования: 17.08.2026
Принята к публикации: 31.08.2026

Paper info

Received May 25, 2026
Reviewed August 17, 2026
Accepted August 31, 2026