

УДК 622.335:622.272:622 © Р.М. Штейнцайг✉, В.В. Цатуров,
К.М. Дубравина, 2026

UDC 622.335:622.272:622 © R.M. Shteintsaiг✉, 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

Приоритеты совершенствования техники и технологии при эксплуатации Сулино-Садкинского месторождения антрацита

Priorities for improving methods and technologies in the operation of the Sulino-Sadkinskoye anthracite deposit

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2026-3-94-98>

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: dybravina@sadkinskoye.ru

Эффективное освоение ресурсной базы крупного Сулино-Садкинского месторождения в Донбассе возможно на основе формируемого и восполняемого научно-практического потенциала в Шахтоуправлении «Садкинское». Разработанный инженерный метод прогнозирования состояния породо-угольного массива позволяет обоснованно принимать решения о схемах вскрытия и раскройки шахтных полей, способах минимизации образования мелкофракционного угольного сырья, средствах его сухого обогащения или обезвоживания обогащенного штыба в традиционных водно-шламовых схемах.

Возможны и новые пути производства высококачественного твердого топлива с использованием вихревых труб Ранка-Хилша.

В своей совокупности результаты системных изысканий создают «Базу знаний» для построения интеллектуальных систем управления процессами добычи и переработки ценного угольного сырья.

Ключевые слова: крупное месторождение антрацита, опыт подземной угледобычи, направления совершенствования техники и технологии добычи сырья и производства товарной продукции, сухое обогащение, использование вихревого эффекта Ранка при производстве высококачественного твердого топлива.

Для цитирования: 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: 10.18796/0041-5790-2026-3-94-98.

Abstract

Efficient development of the resource base of the large Sulino-Sadkinskoye deposit in Donbass is possible based on the scientific and practical potential accumulated and replenished at the Sadkinskoye Mine Administration. The developed engineering method to predict the state of the rock-coal mass helps to make informed decisions on the mine opening method and the mine layout, ways to minimize formation of fine coal, means of its dry cleaning or

dewatering of the coal dust washed using conventional water-slurry methods.

New ways of producing high-quality solid fuel using the Ranque-Hilsch vortex tubes are also possible.

Taken together, the results of this system research create a "knowledge base" for designing smart systems to manage the extraction and processing of valuable coal raw materials.

Keywords

Large anthracite deposit, experience in underground coal mining, directions for improving methods and technologies of raw material extraction and production of commercial products, dry cleaning, use of the Ranque vortex effect in production of high-quality solid fuel.

For citation

Shteintsai 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.

ВВЕДЕНИЕ

Предприятия Группы «Южная угольная компания» продолжают освоение более 350 млн т лицензионных запасов антрацита крупнейшего в Донбассе Сулино-Садкинского месторождения – этого ценного минерального ископаемого [1, 2].

Цели обеспечения безопасных условий труда и производственно-экономической эффективности подземной угледобычи в горнотехнических условиях этого месторождения актуализируют проблематику систематизации и обобщения накапливаемого опыта, типизацию и совершенствование инженерных решений при использовании мощных добычных комбайно-механизированных комплексов, технологических регламентов углеобогащения при производстве товарной продукции с высокими задаваемыми потребительскими качествами на основе добываемого угольного сырья изменяющегося качества.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В своей совокупности результаты реализуемых упомянутых задач обеспечивают формирование, восполнение научно-производственного потенциала и создание «Базы знаний» для построения интеллектуальных систем управления процессами добычи минерального сырья и углеобогащения, абстрагированных от квалификационного уровня персонала, эксплуатирующего комплексы машин и механизмов, а также диспетчеризацию процессов горного производства [3].

Вполне очевидно, что в основе алгоритма функционирования такого рода интеллектуальных систем должны быть заложены контролируемые факторы, характеризующие состояние обрабатываемого породо-угольного массива [4, 5].

Учеными Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова совместно со специалистами Шахтоуправления «Садкинский» разработан и надежно апробирован практикой метод прогнозирования тектонической нарушенности основного продуктивного пласта Сулино-Садкинского месторожде-

ния [6]. Установленные представительные корреляционные взаимосвязи литологии и гипсометрии собственно разрабатываемой угольной залежи и преобладающих литотипов вмещающих пород с характерными геомеханическими свойствами позволяют с вероятностью не ниже 80% устанавливать локализацию тектонических аномалий, их амплитуду, протяженность, азимуты и углы падения [6]. Это создает доказательную основу для рационализации схем вскрытия и раскроя шахтного поля.

В частности, представление о строении породо-угольного массива позволяет в оконтуриваемых очистных столбах условно выделить достаточно протяженные участки, где целесообразны режимы рабочего процесса добычных комбайнов, в наибольшей мере адекватные конкретным горно-геологическим условиям, в том числе с точки зрения минимизации переизмельчения добываемого угольного сырья [3].

Так, например, натурными и вычислительными экспериментами установлено, что при реализации режима крупного скола на 30-35% сокращается удельная энергоемкость процесса, обеспечивается приемлемость динамических нагрузок на рабочем органе и уменьшается в среднем на 12% выход мелкофракционного (≤ 6 мм) угля при использовании шнекового тангенциального режущего инструмента взамен резцов типа РКС, предпочтительных к использованию в условиях отработки крепких пород присечки и/или достаточно мощных пропластков литотипов с высоким коэффициентом хрупкости [3], когда использование резцов поворотного типа позволяет заметно сократить расходы по статье бюджета «Режущий инструмент горных машин».

Вместе с тем планомерная замена шнеков добычного комбайна с особенностями конструктивного исполнения, оснащенных резцами предпочтительного типа, в наибольшей мере адаптированного к конкретным горнотехническим условиям, кардинально не может решить проблему образования мелкофракционного материала в рабочем процессе. Тем более, что по технологической цепи «отбойка – перегрузка – транспортировка – классификация на стадии углеобогащения» количество этого так называемого штыба АШ увеличивается примерно на 12-15% при соответствующем возрастании его зольности.

На фабрике ШУ «Садкинский» с традиционной замкнутой водно-шламовой схемой обогащение штыбовой группы угольного сырья обеспечивает выпуск сортотипа АШ с задаваемой потребителями зольностью от 8%. Но при этом в «мокром цикле» углеобогащения неизбежно увеличение влажности производимой товарной продукции, что негативно отражается на теплотворной способности и снижает рыночную ценность АШ как твердого топлива для предприятий угольной электрогенерации [3].

Установленная зависимость множественной корреляционной связи теплотворной способности с зольностью и влажностью товарной продукции [3] позволяет судить, по меньшей мере, о равнозначном влиянии аргументов этой зависимости на результирующие значения функции.

Гипотетически это свидетельствует о предпочтительности методов сухого углеобогащения мелкофракционного материала.

В ШУ «Садкинское» был разработан, создан и прошел достаточно успешные опытно-промышленные испытания прототип ударно-упругостного сепаратора для обогащения мелких классов угля сухим способом (фото 1).

Ключевые недостатки апробированного способа и устройства заключаются в относительной небольшой производительности (до 120 т/ч), повышенной чувствительности к влажности сырья, поступающего на сепарацию, и снижении эффективности обогащения материала при содержании в общем его объеме фракции до 1,0 мм в количестве свыше 20-25%.

Следует отметить, что эмпирически установленные эксплуатационные возможности созданного прототипа в основном, корреспондируются с заявленными показателями известных на рынке функциональных аналогов. В числе лучшего из них по уровню, по всей видимости, следует отметить установки производства китайской корпорации «Tangshan Shenzhou Manufacturing Group Co, Ltd (TSM)». Характерно, что набор производственной нагрузки установок сухого обогащения здесь осуществляется количеством параллельно работающих модулей единичной производительностью 150-180 т/ч, что соответствующим образом негативно отражается на итоговых массо-габаритных параметрах этих установок при большой их мощности.

Вместе с тем результаты собственных исследований ШУ «Садкинское» и консультаций с возможными поставщиками оборудования показывают, что по ключевым параметрам (глубина обогащения, зольность производимой продукции и породы) эффективность переработки мелкофракционного сырья Сулино-Садкинского месторождения (ввиду высокого содержания фракции $\leq 1,5$ мм и схожести геомеханических характеристик зольной составляющей с антрацитом) установки сухой сепарации (например, наиболее совершенных типов TSM-MZM, TSM-CZM, TSM-GZM) заметно уступает традиционным водно-шламовым схемам углеобогащения в тяжелой среде.

Это обстоятельство предопределяет приоритетность реализации задачи обезвоживания обогащенного «мокрым» способом штыба для повышения теплотворности производимого топлива.

Однако предназначенные для этого наиболее распространенные сушильные установки противоточного типа в потоке разогретого/переохлажденного воздуха (например, TSM-MFD, TSM-DDU) имеют низкую эксергетическую эффективность [7]. Это, в первую очередь, связано с существенными термодинамическими потерями, обусловленными задалживанием внешних источников теплопереноса или применением хладоагентов (к тому же не вполне экологичных).

Повышение эксергетического КПД при обезвоживании мелкофракционного материала представляется возможным в замкнутом рабочем цикле установок типа безроторных турбодетандеров, где обмен работой и теплотой происходит в соответствии с вихревым эффектом Ранка [8, 9].

По аналогии с надежно апробированной технологией LiMax TM (LCP), разработанной китайской компанией GVCE, сушка штыба в процессорах, комплектуемых вихревыми трубами Ранка-Хилша, может осуществляться в



Фото 1. Патент Российской Федерации
Photo 1. Patent of the Russian Federation



Фото 2. Авторское свидетельство Госкомизобретений
Photo 2. Author's certificate issued by the State Committee for Inventions

Конец 1920-х годов

Французский инженер Жозеф Ранк, изучая эволюцию сжатого воздуха тангенциально подаваемого в трубу с открытыми торцами, зафиксировал разделение образующегося вихря на два разнонаправленных потока: периферийный теплый и приосевой холодный.

1934 год

Ж. Ранк в США запатентовал выявленный вихревой эффект (позднее названный его именем): Method and apparatus for obtaining from a fluid under pressure two currents of fluids at different temperatures (№ 1952281; 27.03.1934).

1946 год

Немецкий физик Рудольф Хилш опубликовал эмпирически установленные рекомендации по параметрам и конструированию трубы, обеспечивающей устойчивое и результативное проявление эффекта Ранка: сжатый воздух при температуре окружающей среды тангенциально подается в трубу вблизи одного из концов; по мере расширения газа и продвижения образующегося вихря вдоль внутренней периферийной поверхности, в приосевой области трубы формируется вихрь меньшего диаметра, движущийся в противоположную сторону. При этом температура горячего периферийного потока на выходе из трубы может достигать 200°C, а холодного потока – до -50°C. В последующем такого типа устройства получили наименование «вихревые трубы Ранка-Хилша».

2012 год

Через 75 лет с момента открытия, по результатам обсуждения научным сообществом различных гипотез физической сути проявления вихревого эффекта в трубах Ранка-Хилша, была принята фундаментальная трактовка, заключающаяся в том, что температурное разделение потока расширяющегося газа происходит за счет сохранения энтальпии в движущейся системе отчета. В наиболее общей векторной форме это разделение между теплой вихревой оболочкой и холодным осевым ядром вихря описывается известным уравнением Эйлера для адиабатического потока (по аналогии с газотурбинным рабочим процессом): сжатый газ, расширяясь, набирает скорость через сопло и, преодолевая центробежный барьер вращения, теряет энергию, кинетическая составляющая которой преобразуется во внутреннюю энергию горячего потока. Этот процесс сообразен основополагающему закону сохранения энергии.

В контексте изложенного вихревая труба, по сути, представляет собой безроторный турбодетандер, состоящий из центробежного компрессора (периферия, горячий поток) и радиально-осевой турбины (осевая область, холодный поток).

2021 год

Учеными Омского государственного технического университета (В.И. Кузнецов и др.) составлена и прошла представительную апробацию независимыми исследованиями физико-математическая модель рабочего процесса вихревой трубы, подтверждающая обмен энергией (работой) и теплотой при температурном разделении периферийного и осевого потоков расширяющегося газа.

Эта модель, в том числе, обосновывает расчетные взаимосвязи геометрических и термодинамических параметров вихревой трубы Ранка-Хилша.

противоточных модулях колонного типа (высотой ориентировочно 10-12 м, диаметром до 2,5 м) при непрерывно подаваемом сверху исходном материале (около 150 т/ч). Здесь, в соответствии с реологической моделью Бингама-Шведова, происходит отрыв внешней поверхности воды с последующим частичным выделением капиллярной воды из фракции $\leq 0,5$ мм, оставляя пористой структуру обезвоженного материала. Гравитационное давление в колонном процессоре сжимает и разрушает эту пористость, создавая поперечно-связную структуру, препятствующую повторному расширению. В результате на выходе из процессора образуется плотное гидрофобное твердое топливо [10].

Интересен еще один аспект возможного использования эффекта Ранка для повышения эффективности углеобогащения углей мелкого класса.

В конце 1970-х годов на основе использования вихревых труб Ранка-Хилша было разработано «Устройство для охлаждения воздуха в горных выработках», приоритет которого защищен Госкомизобретений СССР (фото 2).

По заказу Тырныаузского горно-металлургического комбината «Молибден» на базе этого изобретения был создан промышленный образец, прошедший представительную экспертную апробацию. Об этом, в частности, свидетельствует Серебряная медаль ВДНХ СССР, которой была удостоена созданная установка.

В ходе Межведомственных испытаний этой установки Санэпидемстанцией ВГСЧ, в частности, зафиксировано, что содержание пылевидных частиц в «холодном» потоке, формируемом вихревыми трубами, практически сопоставимо с аналогичным показателем исходного в процессе сжатого воздуха, а «горячий» поток становится фактически чистым.

На момент создания установки для кондиционирования рудничной атмосферы внятного объяснения этому обстоятельству не было.

В настоящее время на основе фундаментальной трактовки процесса эффекта температурного разделения расширяющегося сжатого газа, с учетом формулы Эйлера, где ключевыми являются значения абсолютной скорости, наблюдаемой из стационарной системы отчета, и угловой скорости системы, с учетом основных положений обоснованных математической моделью рабочего процесса [9], есть основания полагать следующее.

В радиально-осевой области безроторного турбодетандера (холодный поток вихревой трубы) концентрируются значимые по размерам твердые частицы,

содержащиеся в исходном потоке воздуха.

Это обстоятельство может быть основополагающим при разработке экологически чистых, эксергетически эффективных сепараторов, основанных на практической реализации эффекта Ранка.

Упомянутая выше физико-математическая модель [9] при соответствующей корректировке, учитывающей наличие обогащаемого материала в исходном газе, очевидно, позволит осуществить расчет рациональных геометрических размеров вихревой трубы при заданных термодинамических параметрах.

Конструктивно-компоновочное решение при создании вихревых сепараторов для мелкофракционного угольного

материала возможно по аналогии с устройством для охлаждения воздуха (описание к Авторскому свидетельству; см. фото 2). По всей видимости, в такого типа устройствах следует ожидать как снижения зольности, так и обезвоживания конечной продукции. Последнее (кстати, так же, как и в колонных сушильных процессорах) происходит по аналогии с принципом обезвоживания на S-образной симметричной поверхности высокочастотных грохотов (например, типа ГсМх-2,5х1 или ГБУ-41М), прошедших промышленную апробацию на штыбах ШУ «Садкинское».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты системных изысканий взаимосвязей параметров процессов угледобычи и производства товарной продукции в надежно прогнозируемой горнотехнической обстановке при эксплуатации крупного Сулино-Садкинского месторождения антрацитов в своей совокупности формируют базис для построения интеллектуальных автоматизированных алгоритмов управления технологическим процессом, обеспечивающих эксергетическую эффективность и высокое качество производимой продукции при минимизации эксплуатационных издержек.

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>. Sarkisov G.R., Demerdzhi R.G., Shteintsaig M.R. Prospects of development at enterprises «Yuzhnaya ugolnaya company». *Ugol'*. 2009;(12):3-6. Available at: <https://ugolinfo.ru/Free/082010.pdf>. (In Russ.).
2. Штейнцайг Р.М. Приоритеты «Южной угольной компании» // Уголь. 2010;(8):42-45. URL: <https://ugolinfo.ru/Free/082010.pdf>. Shteintsaig R.M. Priorities of South Coal Company LLC. *Ugol'*. 2010;(8):42-45. Available at: <https://ugolinfo.ru/Free/082010.pdf>. (In Russ.).
3. Цатуров В.В. Интеллектуализация управления процессами добычи угольного сырья и производства товарной продукции // Уголь. 2025;(9): 72-76. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-9-72-76. 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. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспериментальных оценок. М.: Наука, 1974, 117 с.
5. Барон Л.И., Логунцов Б.М., Позин Е.З. Определение свойств горных пород. М.: Госнаучтехиздат, 1962, 275 с.
6. Цатуров В.В., Шурыгин Д.Н. «Прогнозирование тектонической нарушенности пологопадающих угольных пластов» // «Уголь». 2026;(2):57-59. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-2-57-59.
7. 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 coal fired power generation. *Ugol'*. 2025;(8):76-80. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-8-76-80.
8. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение, 1969.184 с.
9. 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;5(2):78-87. (In Russ.).
10. Штейнцайг М.П. Создание центра опережающего промышленного развития на базе Свободненского бурогоугольного месторождения в Амурской области // Уголь. 2019;(1):50-57. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-1-50-57. Shteintsaig M.P. Creation of a centre for advanced industrial development based on the Svobodnenskoye brown coal field in the Amur Region *Ugol'*. 2019;(1):50-57. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-1-50-57.

Authors Information

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

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

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

Информация о статье

Поступила в редакцию: 28.01.2026

Поступила после рецензирования: 17.02.2026

Принята к публикации: 27.02.2026

Paper info

Received January 28, 2026

Reviewed February 17, 2026

Accepted February 27, 2026