

**ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ / CHEMICAL TECHNOLOGY OF FUELS AND HIGH-ENERGY SUBSTANCES**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.63>

**ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА, МЕТОДИКА ЕГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ УГЛЯ ДЕНИСОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Научная статья

**Михеев В.А.<sup>1,\*</sup>, Москаленко Т.В.<sup>2</sup>, Ворсина Е.В.<sup>3</sup>**

<sup>2</sup> ORCID : 0000-0003-2782-2488;

<sup>1,2,3</sup> Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (labkiy[at]mail.ru)

**Аннотация**

В статье показано, что среди угольных технологий большой интерес представляет технология производства и применения водоугольного топлива. Приведены основные преимущества водоугольного топлива по сравнению с другими видами в технологическом, экологическом и экономическом аспекте, что обуславливает особый интерес к применению водоугольного топлива для жителей поселков, отдаленных от энергоресурсов. Разработана и опробована методика приготовления водоугольного топлива в лабораторных условиях и приведены результаты экспериментальных исследований по его приготовлению из каменного угля Денисовского месторождения (пласт К4) Южно-Якутского угольного бассейна. Выполнена оценка основных качественных характеристик полученного водоугольного топлива.

**Ключевые слова:** водоугольное топливо, энергетика, технология, каменный уголь.

**ADVANTAGES AND PROSPECTS OF USING WATER-COAL FUEL, METHODOLOGY OF ITS PREPARATION ON THE EXAMPLE OF COAL FROM THE DENISOVSKOYE DEPOSIT**

Research article

**Mikheev V.A.<sup>1,\*</sup>, Moskalenko T.V.<sup>2</sup>, Vorsina E.V.<sup>3</sup>**

<sup>2</sup> ORCID : 0000-0003-2782-2488;

<sup>1,2,3</sup> The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

\* Corresponding author (labkiy[at]mail.ru)

**Abstract**

The article shows that among coal technologies, the production and application of water-coal fuel is of great interest. The main advantages of water-coal fuel in comparison with other types of fuel in technological, ecological and economic aspects are given, which causes a special interest in the use of water-coal fuel for residents of settlements remote from energy resources. The methodology of preparation of water-coal fuel in laboratory conditions has been developed and tested, and the results of experimental research on its preparation from hard coal of Denisovskoye deposit (seam K4) of the South Yakutsk coal basin have been given. The main qualitative characteristics of the obtained water-coal fuel are evaluated.

**Keywords:** water-coal fuel, energy, technology, stone coal.

**Введение**

В настоящее время, несмотря на активацию вовлечения в энергобаланс альтернативных источников энергии (солнечную энергию, энергию морских приливов, ветра и т.п.), многие специалисты утверждают, что на протяжении первой половины XXI века основой мировой энергетики останется ископаемое органическое топливо, в первую очередь нефть, газ и уголь [1]. К началу нынешнего века перечисленных минерально-энергетических ресурсов, доступных для современных технологий извлечения было израсходовано: 87% мировых запасов нефти, 73% мировых запасов природного газа; 2% мировых запасов угля [2].

По прогнозу Международного энергетического агентства, в середине нынешнего столетия в мировом топливно-энергетическом балансе будет преобладать уголь, на долю которого приходится около 90% энергетического потенциала полезных ископаемых органического происхождения, пригодных для промышленной разработки [3]. При современном уровне добычи угля в 550 млн. т в год только достоверных его запасов хватит более чем на 200 лет [1]. К тому же, в отличие от других ископаемых топлив, запасы угля сосредоточены по всей территории земного шара, поэтому рынок угля практически не подвержен колебаниям, связанным с природными, экономическими и социально-политическими факторами.

Однако после ратификации Киотского протокола экологические ограничения потребовали решения вопроса разработки и внедрения экологически чистых угольных технологий, обеспечивающих высокую полноту использования топлива при максимально низкой вредной нагрузке на окружающую среду. Среди угольных технологий большой интерес представляет технология производства водоугольного топлива (ВУТ) возникшая с появлением в 50-60-х гг. прошлого столетия гидротранспорта угля. Наиболее интенсивно разработка технологии ВУТ проводится в Японии и Китае. В каждой из этих стран только в период с 1983 по 1995 годы итоговое производство ВУТ достигало 1600 тыс. т [2], а в последние годы ВУТ в этих странах сжигается по несколько млн. т в год. В России же до сих пор технология ВУТ считается инновационной, вследствие отсутствия широкого опыта промышленного использования, к которому можно отнести только два примера: в конце 80-х годов прошлого столетия строительство опытно-промышленного углепровода «Белово – Новосибирская ТЭЦ-5» протяженностью 264 км и производительностью 3

млн. т ВУТ в год, строительство в 2007 г. цеха приготовления ВУТ пос. Енский, Мурманской области. Основные работы в РФ, связанные с исследованием, совершенствованием и внедрением ВУТ, а также проектированием установок для его приготовления, транспортирования и использования ведут ФГУП НПЦ «Экотехника», ЗАО НП «Сибэкотехника», ЗАО «Альматеа».

### Преимущества и перспективы применения водоугольного топлива

Анализ опубликованных научно-практических данных по данной тематике, позволил выделить следующие основные преимущества ВУТ по сравнению с другими видами топлива:

#### 1. Технологические:

- взрыво- и пожаробезопасность во всех технологических операциях;
- улучшение условий на стадии подготовки топлива к сжиганию на ТЭЦ за счет отсутствия запыления в системе подачи угля;
- при переводе теплогенерирующих установок на сжигание ВУТ не требуется существенных изменений конструкций теплоагрегатов;
- простота механизации и автоматизации процессов приема, подачи и сжигания ВУТ;
- при вихревом сжигании ВУТ (температура 950-1050 °С) эффективность превышает 97% против 60% при слоевом сжигании угля;
- разработаны четыре системы зажигания ВУТ – с применением плазмотрона, природного газа, жидкого и твердого топлив.

#### 2. Экологические:

- экологическая безопасность и уменьшение токсичности на всех стадиях производства, транспортирования и использования ВУТ;
- сжигание ВУТ позволяет значительно снизить вредные выбросы в атмосферу (пыли, диоксида серы, оксидов азота) (табл. 1), к тому же, при замене топочного мазута на ВУТ из газообразных выбросов полностью исчезают полициклические ароматические углеводороды, являющиеся канцерогенами;
- снижение потерь при транспортировке угля и связанного с этим загрязнения окружающей среды;
- обеспечивается эффективное использование образующейся при сжигании летучей золы: зола, образующаяся при сжигании ВУТ, безвредна, имеет большой спрос и полностью утилизируется в стройиндустрии, в то время как шлак, образующийся при сжигании угля, требует утилизации и мало востребован.

Таблица 1 - Количество вредных веществ образующихся при сжигании различных видов топлива

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.63.1>

Вредное вещество в выбросах	Уголь	Мазут	ВУТ
Пыль, сажа, г/м <sup>3</sup>	100-200	2-5	1-5
SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	400-800	400-700	100-200
NO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	250-600	150-750	30-100

Примечание: источник [2]

#### 3. Экономические:

- снижение стоимости 1 т условного топлива в 3 раза и более;
- снижение на 15-30% эксплуатационных затрат при хранении, транспортировании и сжигании;
- снижение экологических штрафов при замещении на ВУТ угля;
- снижение на 30-40% капитальных затрат при переводе ТЭС и ГРЭС с природного газа, и мазута на ВУТ;
- окупаемость затрат на внедрение ВУТ составляет 1-2,5 года;
- в ситуации, когда большинство действующих угольных ТЭС эксплуатируются 35 лет и более, перевод котлов со слоевым сжиганием угля на сжигание ВУТ может стать основой принципиального комплексного решения по реконструкции и модернизации ТЭЦ.

Необходимо отметить также, что эколого-экономические преимущества перехода на технологию с использованием ВУТ характерны не только, непосредственно, для предприятий энергетики, но и для угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий. Для угольной промышленности проблема отходов является настоящим бедствием: они занимают большие территории, наносят ущерб самим предприятиям и окружающей среде. Образование большого количества отходов производства, обладающих высокими потребительскими качествами, предопределяет настоятельную необходимость их утилизации для нужд народного хозяйства. Переработка отходов угольной промышленности в ВУТ – перспективное направление комплексной переработки угля, которое, в общем случае, позволит получить:

- эффект от производства или поставки дополнительной продукции (сырья);
- экономию затрат на нейтрализацию вредного действия отходов на окружающую среду;
- эффект от комплексного развития региона и совершенствования размещения производительных сил.

К основным недостаткам традиционной технологии производства ВУТ относят: высокие метало- и энергозатратную составляющие, последнюю из которых связывают, прежде всего, с низким (менее 1%) к.п.д. шаровых

барабанных мельниц мокрого помола; низкую устойчивость ВУТ (1-2 месяца), данная проблема решена, например, при производстве суспензии, которая сохраняет структуру не менее 1 года при хранении, и при транспортировке автомобильным транспортом на расстояния не менее 500 км [2]. Таким образом, изучение способов приготовления ВУТ, его качественных характеристик и связанных с применением ВУТ процессов, таких как его транспортировка, сжигание, стабилизация воспламенения, разработка конструкций печей и золоуловителей, являющихся сдерживающими факторами широкого распространения ВУТ во многих исследованиях: [7], [8], [9], [10], [11] и др.

Потребителями ВУТ могут быть как малые, средние, так и крупные промышленные предприятия, а также предприятия ЖКХ. ВУТ может быть использовано как основное и ли резервное топливо на котельных, больших и малых ТЭС, в т.ч. мини-ТЭС. Особый интерес ВУТ представляет для жителей поселков, отдаленных от энергоресурсов (например, децентрализованная зона Республики Саха (Якутия), обслуживаемая нуждающимися в реконструкции дизельными электростанциями). Эффективность применения ВУТ должна устанавливаться на основе технико-экономического анализа конкретной ситуации, в котором должны учитываться: вид вытесняемого ВУТ топлива; компоненты, используемые для составления топливной композиции, месторасположение установки по производству и т.п.

#### Методика исследования

В качестве объекта исследований по изучению свойств ВУТ для его приготовления был выбран каменный уголь Южно-Якутского угольного бассейна, Денисовского месторождения (пласт К4). Качественные характеристики угля и результаты определения гранулометрического состава приведены в таблице 2.

При оценке результатов ситового анализа рядового угля Денисовского месторождения отмечено высокое содержание мелких классов. Содержание частиц угля класса крупности менее 3,15 мм составляет 64,6% при зольности 19,5%, что ниже, чем зольность рядового угля на 2,8%.

Таблица 2 - Качественные характеристики и гранулометрический состав проб угля

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.63.2>

Класс крупности, мм	Выход классов, %	$W^a$ , %	$A^d$ , %	$V^{daf}$ , %
рядовой	100,0	0,3	22,3	26,1
30-50	7,75	0,3	11,6	24,2
20-30	3,27	0,5	36,9	28,2
10-20	8,29	0,5	40,3	29,1
6-10	3,31	0,5	35,6	28,2
3,15-6	12,83	0,4	30,0	27,5
2-3,15	21,56	0,4	25,4	26,6
1-2	11,88	0,3	19,3	25,8
менее 1	31,12	0,3	15,4	25,6

Примечание:  $W^a$  – содержание влаги аналитической, %;  $A^d$  – зольность на сухую массу, %;  $V^{daf}$  – выход летучих веществ на сухое беззольное состояние, %

Экспериментальные исследования по приготовлению ВУТ в лабораторных условиях осуществлялись по следующей методике.

Первая ступень – дробление рядового угля на щековой дробилке "Pulverizette 1" до класса крупности менее 3 мм. Эта стадия является подготовительной.

Вторая ступень – сухое измельчение угля. Время сухого измельчения определено опытным путем из условия максимального выхода частиц класса крупности менее 0,25 мм (табл. 3). По классификации [4] суспензии, содержащие частицы крупностью менее 0,5 мм, относятся к тонкодисперсным. Для проведения экспериментов принято время измельчения на второй ступени приготовления суспензии 5 мин, поскольку дальнейшее увеличение времени измельчения не приводит к снижению количества граничного класса крупности, что справедливо для частиц угля как крупностью более 0,5 мм, так и более 0,25 мм. Тем не менее, содержание крупных частиц достаточно велико. В соответствии с этим принято решение производить отсев и дополнительный размол угля крупностью более 0,25 мм, что обеспечивает отсутствие частиц угля размером более 0,5 мм в получаемых суспензиях.

Таблица 3 - Выход классов крупности более 0,5 мм и более 0,25 мм при сухом измельчении угля в планетарной мельнице

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.63.3>

№	Время сухого измельчения, мин	Класс крупности	
		> 0,5 мм, %	> 0,25 мм, %
1	3	5,3	18,6
2	5	0,5	7,3
3	7,5	0,4	6,8
4	10	0,4	6,3
5	12,5	0,3	5,2

Сухой размол проводился на планетарной мельнице "Pulverizette 1". Время размола 5 минут, при скорости 280 оборотов в минуту. После этого проводился контроль качества размола измельченной пробы путем отсева на сите с размером ячеек 0,25 мм. Класс крупности более 0,25 мм отправлялся в планетарную мельницу для повторного измельчения при тех же условиях, что позволило добиться полного отсутствия угля класса более 0,5 мм в пробах после сухого размола.

Третья ступень приготовления ВУТ – мокрый размол. Эта операция также проводилась на планетарной мельнице "Pulverizette 1". Это одна из важнейших стадий приготовления суспензии, так как при этом осуществляется смешивание (гомогенизация) компонентов. В зависимости от концентрации жидкого к твердому (Ж:Т) получаемого ВУТ рассчитывалось необходимое количество воды, причем отношение Ж:Т определялось по массовому соотношению. Отношение Ж:Т для приготовления суспензий принималось из расчета массового количества твердого 50, 55 и 60%. Гомогенизация проводилась при скорости 280 оборотов в минуту при времени мокрого размола 3, 5 и 7 минут.

#### **Результаты и обсуждение**

Измерение вязкости ВУТ. Для определения реологических свойств получаемого ВУТ измерения вязкости проводились на ротационном вискозиметре "Viscotester VT-02", при скорости сдвига  $14 \text{ с}^{-1}$  со стандартной измерительной системой цилиндров. Испытания проводили, при температуре 25 °С. Реологические характеристики ВУТ оценивали по критерию текучести (Па×с).

Вязкость суспензий измерялась сразу же после их приготовления и в течение суток, с интервалами 1; 2,5; 5; 10; 20; 40; 60; 120 минут, а также через 1 сутки после приготовления. Результаты измерения вязкости полученных ВУТ приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Характеристики водоугольных суспензий, полученных из угля Денисовского месторождения (пласт К4)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.63.4>

№	Время гомогенизации, мин	Содержание твердой фазы, %		Вязкость, Па·с		Гранулометрический состав, % по классам крупности (мм)				Степень стабильности, %
		теоретическое	фактическое	1 час	24 часа	>0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	<0,05	
1	3	50	58,9	0,41	0,65	3,78	17,32	22,06	56,84	87,19
2		55	55,1	0,80	0,85	3,64	23,18	24,87	48,30	89,82
3		60	59,5	1,03	1,05	10,62	40,81	19,62	28,94	88,51

№	Время гомогенизации, мин	Содержание твердой фазы, %		Вязкость, Па·с		Гранулометрический состав, % по классам крупности (мм)				Степень стабильности, %
		теоретическое	фактическое	1 час	24 часа	>0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	<0,05	
4	5	50	54,1	0,6	0,65	5,81	34,60	34,40	25,19	90,00
5		55	55,8	0,8	0,87	3,78	28,16	20,82	47,23	88,42
6		60	46,1	1,15	1,25	7,87	42,47	20,72	28,93	91,93
7	7	50	48,7	0,55	0,60	3,79	17,44	29,65	29,65	87,89

№	Время гомогенизации, мин	Содержание твердой фазы, %		Вязкость, Па·с		Гранулометрический состав, % по классам крупности (мм)				Степень стабильности, %
		теоретическое	фактическое	1 час	24 часа	>0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	<0,05	
8		55	54,0	0,43	0,48	3,59	24,81	19,43	52,18	91,32
9		60	59,1	1,00	1,05	5,91	19,66	17,14	57,29	94,12

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к водоугольным суспензиям, их вязкость не должна превышать 1 Па·с [4]. Суспензии, приготовленные из углей Денисовского месторождения (пласт К4), с содержанием твердой фазы 50 и 55% соответствуют данному требованию, лишь вязкость суспензии с содержанием твердой фазы 60% несколько превышает граничное значение.

Определение содержания твердой фазы в ВУТ. Согласно принятой методике экспериментальных исследований, при приготовлении суспензий закладывалось соотношение жидкого к твердому (Ж:Т) – 50, 55 и 60%. Фактическое содержание твердой фазы, полученное в процессе приготовления суспензии, определялось путем высушивания двух параллельных проб суспензии до постоянной массы при температуре 105 °С (ГОСТ 27314-91). В результате чего установлено, что фактическое содержание твердой фазы в водоугольных суспензиях, приготовленных из углей Денисовского месторождения (пласт К4) по сравнению с расчетным отличается в пределах 1% (табл. 4).

Изучение гранулометрического состава ВУТ. Гранулометрический состав водоугольных суспензий исследовали путем проведения их мокрого отсева. Рассев производился с использованием рассеивателя "Analizette 3 pro" фирмы Fritsh на ситах с размером ячеек 0,25; 0,1 и 0,05 мм. Уголь класса крупности менее 0,05 мм удалялся в слив. Расчет процентного содержания надситных классов производился на сухую массу путем их прямого взвешивания и определения влаги. Расчет количества частиц угля класса крупности менее 0,05 мм производился по балансу. Результаты исследования гранулометрического состава приведены в таблице 4.

Полученные водоугольные суспензии по классификации [4] относятся к тонкодисперсным, содержание класса крупности более 0,25 мм составляет для денисовского угля (пласт К4) от 3,6 до 10,6%.

Распределение частиц суспензии из денисовского угля (пласт К4) по классам крупности приведено на рисунке 1. Выделенные классы угля (кроме класса более 0,25 мм) имеют практически во всех случаях равное соотношение, определенной зависимости от содержания твердой фазы или от времени размола не установлено.



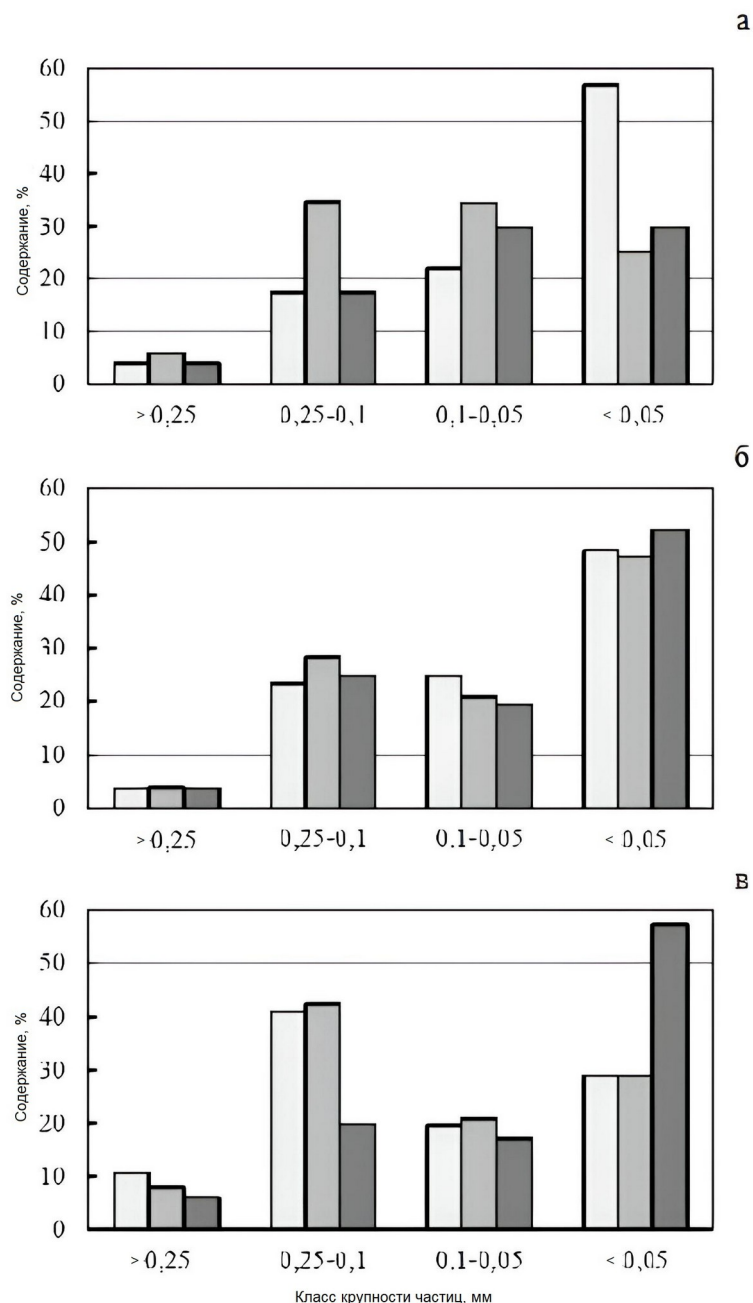


Рисунок 1 - Распределение частиц по классам крупности для водоугольных суспензий из угля Денисовского месторождения (пласт К4) с содержанием твердой фазы 50 % (а), 55% (б) и 60% (в) и временем гомогенизации 3, 5 и 7 минут

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.63.5>

Исследование седиментационной устойчивости ВУТ. Исследование седиментационной устойчивости заключалось в определении времени полного осаждения (или расслоения) твердой фазы водоугольной суспензии в центробежном поле. Осаждение суспензий проводилось на центрифуге марки ОС-6МУХЛ 4.2, с частотой вращения 3000 об./мин, в проградуированной пробирке объемом 40 мл. Интервалы времени центрифугирования, (с): 30, 60, 90, 120, 180, 600.

Определение седиментационной устойчивости выполнено по методу определения седиментации в центробежном поле [5]. Степень стабильности (%) вычислялась по формуле:

$$S = 100(V - V1)/V, \quad (1)$$

где  $V$  – общий объем пробы, мл;  $V1$  – объем осевшей (или расслоившейся) твердой фазы, мл.

В результате определения седиментационной устойчивости установлено, что суспензии, приготовленные из углей Денисовского месторождения (пласт К4) имеют высокую седиментационную устойчивость со степенью стабильности более 85%.

#### Заключение

Таким образом, предложенный методический подход к приготовлению ВУТ может быть эффективно применен при использовании в качестве сырья для его производства углей месторождений Южно-Якутского угольно бассейна.

Применяемая схема трехстадийного размола с дроблением угольных частиц размером более 0,25 мм на второй ступени приготовления и гомогенизацией на третьей ступени позволяет получать суспензии со стабильным гранулометрическим составом и свойствами, которые отвечают требованиям к их качеству. Необходимо отметить, что высокими качественными показателями данные суспензии обладают без добавления поверхностно-активных веществ, а тот факт, что в угле Денисовского месторождения (пласт К4) высокое содержание мелких классов, говорит о том, что возможна разработка технологической схемы приготовления ВУТ на основе высева.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Шкиндеров М.С., Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, Российская Федерация  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.63.6>

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

Shkinderov M.S., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russian Federation  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.63.6>

### Список литературы / References

1. Baranova M.P. Energy and Ecological Aspects of Coal-water Slurry Utilization / M.P. Baranova, V.A. Kulagin // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. — 2011. — № 4 (5). — P. 527–532. — EDN OOVKOB.
2. Зайденварг В.Е. Производство и использование водоугольного топлива / В.Е. Зайденварг, К.Н. Трубецкой, В.И. Мурко [и др.]. — Москва : Издательство Академии горных наук, 2001. — 176 с. — EDN XGORYM.
3. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю.Г. Фролов. — Москва : Химия, 1988. — 464 с.
4. Овчинников Ю.В. Искусственное композиционное жидкое топливо из угля и эффективность его использования / Ю.В. Овчинников, С.В. Луценко // Материалы научно-практической конференции «Перспективные энергосберегающие технологии и способы сжигания твердого топлива в котлах малой и средней мощности», 15–18 ноября 2005 г., г. Кемерово. — URL: [https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=624](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=624) (дата обращения: 30.10.2024).
5. Бекмуратова Б.Т. Применение водоугольного топлива в теплоэнергетике / Б.Т. Бекмуратова // Бюллетень науки и практики. — 2020. — Т. 6. — № 12. — С. 261–267. — DOI: 10.33619/2414-2948/61/27. — EDN YONJIV.
6. Тропко Л.А. Стратегия развития угольной отрасли. Проблемы и пути их решения / Л.А. Тропко // Уголь. — 2003. — № 3 (923). — С. 3–6. — EDN OFVQUX.
7. Алимджанова Д.И. Водоугольное топливо на основе бурого угля Ангрэнского месторождения / Д.И. Алимджанова, Ш.М. Абдусатторов, Н.К. Муйдинова [и др.] // Universum: технические науки. — 2021. — № 3 (84). — URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11443> (дата обращения: 30.10.2024).
8. Долинский А.А. Водоугольное топливо: перспективы использования в теплоэнергетике и жилищно-коммунальном секторе / А.А. Долинский, А.А. Халатов // Промышленная теплотехника. — 2007. — Т. 29. — № 5. — С. 70–79.
9. Kuznetsov V.A. Numerical study on processes of oxy-fuel combustion of coal-water slurry in the furnace chamber / V.A. Kuznetsov, D.M. Bozheeva, A.V. Minakov // Fuel. — 2024. — Vol. 371. — Part B. — 132034 p. — DOI: 10.1016/j.fuel.2024.132034. — EDN MKMAGB.
10. Glushkov D. The Research of Coal-Water Slurry Fuel Ignition and Artificial Composite Liquid Fuel Droplets in Academic Context / D. Glushkov, P. Strizhak, K. Vershinina // Procedia – Social and Behavioral Sciences. — 2015. — Vol. 206. — P. 295–300. — DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.10.053.
11. Nodelman I.G. Partitioning behavior of trace elements during pilot-scale combustion of pulverized coal and coal-water slurry fuel / I.G. Nodelman, S.V. Pisupati, Sh.F. Miller [et al.] // Journal of Hazardous Materials. — 2000. — Vol. 74. — Issues 1–2. — P. 47–59. — DOI: 10.1016/S0304-3894(99)00198-3. — EDN KJWIAZ.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Baranova M.P. Energy and Ecological Aspects of Coal-water Slurry Utilization / M.P. Baranova, V.A. Kulagin // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. — 2011. — № 4 (5). — P. 527–532. — EDN OOVKOB.
2. Zaydenvarg V.E. Proizvodstvo i ispol'zovanie vodougol'nogo topliva [Production and use of coal-water fuel] / V.E. Zaydenvarg, K.N. Trubetskoy, V.I. Murko [et al.]. — Moscow : Publishing House of the Academy of Mining Sciences, 2001. — 176 p. — EDN XGORYM. [in Russian]
3. Frolov Yu.G. Kurs kolloidnoj himii. Poverhnostnye javlenija i dispersnye sistemy [Course of colloidal chemistry. Surface phenomena and dispersed systems] / Yu.G. Frolov. — Moscow : Khimiya Publ., 1988. — 464 p. [in Russian]
4. Ovchinnikov Yu.V. Iskusstvennoe kompozicionnoe zhidkoe toplivo iz uglja i jeffektivnost' ego ispol'zovanija [Artificial composite liquid fuel from coal and the effectiveness of its use] / Yu.V. Ovchinnikov, S.V. Lutsenko // Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii "Perspektivnye jenergosberegajushhie tehnologii i sposoby szhiganiya tverdogo topliva v kotlah maloj i srednej moshhnosti" [Proceedings of the Scientific and Practical Conference "Promising energy-saving technologies and methods of solid fuel combustion in boilers of small and medium capacity"], November 15–18, 2005, Kemerovo. — URL: [https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=624](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=624) (accessed: 30.10.2024). [in Russian]

5. Bekmuratova B.T. Primenenie vodougol'nogo topliva v teplojenergetike [Application of water-based fuel in heat power engineering] / B.T. Bekmuratova // B'ulleten' nauki i praktiki [Bulletin of Science and Practice]. — 2020. — Vol. 6 — № 12. — С. 261–267. — DOI: 10.33619/2414-2948/61/27. — EDN YONJIV.
6. Tropko L.A. Strategija razvitija ugol'noj otrasli. Problemy i puti ih reshenija [Coal mining industry development strategy. Problems and their decision's ways] / L.A. Tropko // Ugol' [Coal]. — 2003. — № 3 (923). — С. 3–6. — EDN OFVQUX. [in Russian]
7. Alimdjanova D.I. Vodougol'noe toplivo na osnove burogo uglja Angrenskogo mestorozhdenija [Coal-water fuel based on brown coal from the Angren deposit] / D.I. Alimdjanova, Sh.M. Abdusattorov, N.K. Muydinova [et al.] // Universum: tehnicheckie nauki [Universum: technical sciences]. — 2021. — № 3 (84). — URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11443> (accessed: 30.10.2024). [in Russian]
8. Dolinsky A.A. Vodougol'noe toplivo: perspektivy ispol'zovanija v teplojenergetike i zhilishhno-kommunal'nom sektore [Coal-water fuel: prospects of use in thermal power engineering and housing and communal services] / A.A. Dolinsky, A.A. Khalatov // Promyshlennaja teplotehnika [Industrial Heat Engineering]. — 2007. — Vol. 29. — № 5. — P. 70–79. [in Russian]
9. Kuznetsov V.A. Numerical study on processes of oxy-fuel combustion of coal-water slurry in the furnace chamber / V.A. Kuznetsov, D.M. Bozheeva, A.V. Minakov // Fuel. — 2024. — Vol. 371. — Part B. — 132034 p. — DOI: 10.1016/j.fuel.2024.132034. — EDN MKMAGB.
10. Glushkov D. The Research of Coal-Water Slurry Fuel Ignition and Artificial Composite Liquid Fuel Droplets in Academic Context / D. Glushkov, P. Strizhak, K. Vershinina // Procedia – Social and Behavioral Sciences. — 2015. — Vol. 206. — P. 295–300. — DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.10.053.
11. Nodelman I.G. Partitioning behavior of trace elements during pilot-scale combustion of pulverized coal and coal-water slurry fuel / I.G. Nodelman, S.V. Pisupati, Sh.F. Miller [et al.] // Journal of Hazardous Materials. — 2000. — Vol. 74. — Issues 1–2. — P. 47–59. — DOI: 10.1016/S0304-3894(99)00198-3. — EDN KJWIAZ.