

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№2 (2026)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/BGQF2124>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шеръязов С. К.	<i>т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)</i>
Искакова З. С.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/BGQF2145>

**А. С. Никифоров¹, А. К. Кинжибекова², *А. У. Габдулов³,
Д. А. Азаматова⁴, В. А. Ададуров⁵**

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6977-0957>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5839-3001>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3266-8270>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2446-5817>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7427-5106>

*e-mail: gabdulov25@mail.ru

АНАЛИЗ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

В статье представлены результаты анализа теплофизических характеристик органических отходов с целью оценки возможности их энергетической утилизации. Актуальность исследования обусловлена устойчивым ростом объёмов органических отходов в Республике Казахстан и в мировой практике, а также необходимостью снижения экологической нагрузки за счёт вовлечения отходов в энергетический оборот. Особое внимание уделено техногенным органическим отходам угольной отрасли – угольным отвальным породам, образующимся при добыче, транспортировке и переработке угля.

В работе рассмотрены ключевые теплофизические показатели органических отходов: влажность, зольность и низшая теплота сгорания, которые в наибольшей степени определяют эффективность их использования в качестве вторичного энергетического сырья. Экспериментальные данные получены на основе отчёта по определению теплофизических характеристик угольных отвалных пород с применением нормативных методов испытаний. Результаты исследований представлены в виде таблиц с последующим аналитическим обсуждением, что позволяет выявить закономерности изменения свойств отходов в зависимости от их происхождения.

Проведённый анализ показал, что угольные отвалы породы характеризуются низкой влажностью, однако отличаются значительной вариацией зольности и теплоты сгорания.

Установлено, что отдельные фракции угольных отвальных пород обладают достаточным энергетическим потенциалом и могут рассматриваться как перспективное вторичное топливо.

Несмотря на то, что отходы растительной биомассы характеризуются повышенной влажностью и значительно различаются по зольности, энергетическое использование отходов растительной биомассы целесообразно, что обусловлено достаточной теплотой при экологических преимуществах.

Полученные результаты подтверждают целесообразность комплексного подхода к утилизации органических отходов и могут быть использованы при разработке технологий их энергетического использования.

Ключевые слова: органические отходы, угольные отвальные породы, теплофизические характеристики, влажность, зольность, теплота сгорания.

Введение

Органические отходы занимают значительную долю в общем объёме отходов, образующихся в результате промышленной, сельскохозяйственной и коммунально-бытовой деятельности. По данным международных исследований, органическая фракция составляет от 40 до 60 % твёрдых коммунальных отходов, что обуславливает высокий потенциал их переработки и энергетического использования [1; 2; 3]. В мировой практике всё большее распространение получают технологии утилизации органических отходов с получением тепловой и электрической энергии, что позволяет одновременно решать экологические и энергетические задачи [4; 5].

В Республике Казахстан проблема обращения с органическими отходами остаётся актуальной в связи с преобладанием полигонного захоронения и недостаточным уровнем их переработки. Существенные объёмы органических отходов формируются не только в коммунальном секторе, но и в промышленности, в частности в угольной отрасли [6]. Техногенные отходы угледобычи, содержащие органическую составляющую, представляют интерес как потенциальный вторичный энергетический ресурс.

Одним из наиболее распространённых видов таких отходов являются угольные отвальные породы. Это горнопромышленные отходы, образующиеся в процессе добычи и вскрыши угольных месторождений, а также при обогащении угля, и представляющие собой смесь вмещающих горных пород (песчаники, алевролиты, аргиллиты и др.) с примесями угля и угольной мелочи. С одной стороны, их накопление приводит к негативным

экологическим последствиям, с другой – наличие горючей составляющей определяет возможность энергетической утилизации [7; 8].

Использование отходов растительной биомассы в теплоэнергетике (листья, опилки, солома, камыш) является экологически перспективным направлением. Рациональная утилизация отходов растительной биомассы позволит снизить объемы сжигания отходов на открытых площадках, однако требует предварительной подготовки топлива для обеспечения устойчивых энергетических показателей [9].

Ключевым этапом обоснования технологий утилизации органических отходов является определение их теплофизических характеристик. Показатели влажности, зольности и теплоты сгорания позволяют оценить энергетический потенциал отходов и выбрать рациональные направления их использования. В этой связи целью настоящей работы является анализ теплофизических характеристик органических отходов на примере угольных отвальных пород и растительной биомассы.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования выбраны органические отходы угольной отрасли – угольные отвальные породы, образующиеся на угольных разрезах «Восточный» и ТОО «Богатырь Комир», которые характеризуются значительными объёмами накопления отходов в Республике Казахстан.

Объектом исследования растительного происхождения выбраны органические отходы растительной биомассы – листья, опилки, солома, камыш, образующиеся в результате сельскохозяйственной и лесохозяйственной деятельности, а также коммунальной деятельности.

1 Определение влажности

Определение массовой доли влаги в образцах органических отходов проводилось в соответствии с ГОСТ Р 54186–2010 (EN 14774-1:2009) методом высушивания аналитической пробы до постоянной массы [10]. Для анализа использовались навески массой $1,0 \pm 0,1$ г, что соответствует требованиям стандарта и обеспечивает достаточную точность измерений.

Высушивание проб осуществлялось при температуре 105 ± 2 °С, при которой удаляется свободная и гигроскопическая влага, не вызывая термического разложения органической части образца. После высушивания тигли с пробями охлаждались в эксикаторе, что исключало влияние влагообмена с окружающим воздухом на результаты взвешивания. Контроль постоянства массы позволял снизить погрешность определения влажности и повысить воспроизводимость полученных данных. Методика проведения эксперимента по определению влажности представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Определение влажности органических отходов

2 Определение зольности

Зольность образцов органических отходов определяли в соответствии с ГОСТ Р 54185–2010 (EN 14775:2009) методом высокотемпературного прокаливания аналитической пробы [11]. Метод позволяет количественно оценить содержание минеральной части в исследуемом материале.

Прокаливание навесок массой $1,0 \pm 0,1$ г проводилось при температуре 815 ± 10 °С, обеспечивающей полное выгорание органической составляющей без потерь минеральных компонентов. Предварительное прокаливание тиглей и охлаждение их в эксикаторе снижали влияние посторонних факторов на результаты взвешивания. После завершения прокаливания и охлаждения определяли массу золы, образующейся в результате термического разложения образца. Методика проведения эксперимента по определению зольности представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Определение зольности органических отходов

3 Определение теплоты сгорания

Определение теплоты сгорания образцов органических отходов выполнялось калориметрическим методом в соответствии с ГОСТ 147–2013 (ISO

1928:2009) [12]. Метод основан на полном сгорании навески твёрдого топлива в атмосфере сжатого кислорода при постоянном объёме внутри герметичной калориметрической бомбы, помещённой в сосуд с водой (рисунок 3).

Испытания проводились на калориметрической установке с предварительно установленным энергетическим эквивалентом, определённым сжиганием эталонной бензойной кислоты. В процессе эксперимента регистрировался подъём температуры теплоносителя, по которому рассчитывали высшую теплоту сгорания. Далее на основании данных о влажности образца выполнялся расчёт низшей теплоты сгорания, учитывающий теплоту испарения воды, образующейся при сгорании топлива.

Проведение испытаний в нескольких повторностях позволило повысить надёжность результатов и определить средние значения теплоты сгорания для исследуемых образцов органических отходов.



Рисунок 3 – Калориметрическая бомба

Результаты и обсуждение

1 Влажность угольных отвалных пород и отходов растительной биомассы (листья, опилки, солома, камыш).

Результаты определения влажности угольных отвалных пород и растительных отходов представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Влажность (WA) угольных отвальных пород в аналитической пробе

№ опыта	Влажность, %				
	Угольный разрез «Восточный»		ТОО «Богатырь Комир»		
	образец №1	образец №2	образец №3	образец №4	образец №5
1	1,04	1,05	0,91	0,97	0,95
2	0,89	0,89	1,03	1,03	0,93
3	0,92	0,90	0,93	1,04	1,04
4	1,03	1,01	0,88	0,94	1,02
5	1,04	0,93	0,97	1,05	0,89
Среднее значение, %	0,98	0,96	0,94	1,01	0,97
Абсолютная погрешность, %	0,06	0,06	0,04	0,04	0,05
Относительная погрешность, %	6,12	6,25	4,26	3,96	5,15
Средне-квадратичное отклонение, %	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03
Доверительный интервал	[0,94; 1,02]	[0,92; 1,00]	[0,91; 0,97]	[0,99; 1,03]	[0,94; 1,00]

Анализ таблицы 1 показывает, что средняя влажность исследуемых образцов находится в диапазоне 0,94–1,01 %. Такие значения свидетельствуют о низком влагосодержании угольных отвальных пород и благоприятных условиях их хранения. Существенных различий между образцами различных разрезов не выявлено, что указывает на однородность материала по данному показателю.

Таблица 2 – Влажность (WA) растительных отходов в аналитической пробе

№ опыта	Влажность, %			
	образец №1 Листья	образец №2 Опилки	образец №3 Солома	образец №4 Камыш
1	7,2881	4,5870	5,0915	7,5126
2	7,2665	4,6853	5,0675	7,2992
3	7,24	4,6453	5,1178	7,071
4	7,7756	4,6453	4,9151	7,0794
Среднее значение, %	7,3925	4,6407	5,0479	7,2655
Абсолютная погрешность, %	0,1915	0,0268	0,0665	0,1653
Относительная погрешность, %	2,5904	0,5775	1,3174	2,2751
Среднеквадратичное отклонение, %	0,2561	0,04	0,0905	0,2116
Доверительный интервал	[7,1415; 7,6434]	[4,6015; 4,6799]	[4,9592; 5,1366]	[7,0582; 7,4728]

Анализ таблицы 2 показывает, что средняя влажность исследуемых образцов находится в диапазоне 4,64–7,39 %. Такие значения свидетельствуют о повышенной влажности растительных отходов, что требует предварительной подготовки, необходимости специальных систем хранения и подачи.

2 Зольность угольных отвальных пород и отходов растительной биомассы (листья, опилки, солома, камыш).

Результаты определения зольности представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Зольность (АА) угольных отвальных пород в аналитической пробе

№ опыта	Зольность, %				
	Угольный разрез «Восточный»		ТОО «Богатырь Комир»		
	образец №1	образец №2	образец №3	образец №4	образец №5
1	59,00	61,00	71,00	60,00	47,00
2	58,00	62,00	72,00	57,00	49,00
3	59,00	61,00	71,00	57,00	47,00
4	59,00	61,00	70,00	57,00	47,00
5	58,00	60,00	71,00	57,00	48,00
Среднее значение, %	58,60	61,00	71,00	57,60	47,60
Абсолютная погрешность, %	0,48	0,40	0,40	0,96	0,72
Относительная погрешность, %	0,82	0,66	0,56	1,67	1,51
Средне-квадратичное отклонение, %	0,27	0,35	0,35	0,67	0,45
Доверительный интервал	[58,36, 58,84]	[60,69, 61,31]	[70,69, 71,31]	[57,01, 58,19]	[47,21, 47,99]

Анализ таблицы 3 показывает, что зольность угольных отвальных пород варьируется в широком диапазоне – от 47,6 до 71,0 %. Наибольшая зольность характерна для образца №3 ТОО «Богатырь Комир», что снижает его энергетическую ценность. В то же время образцы с зольностью менее 60 % могут рассматриваться как перспективное вторичное топливо.

Таблица 4 – Зольность (АА) растительных отходов в аналитической пробе

№ опыта	Зольность, %			
	образец №1 Листья	образец №2 Опилки	образец №3 Солома	образец №4 Камыш
1	9,1538	0,3504	3,0682	4,3886
2	9,2933	0,2499	3,0382	3,8519
3	9,3561	0,2899	2,8774	3,7969
4	8,9967	0,3297	3,0579	5,1244
5	8,5363	0,4895	2,7542	3,9968
Среднее значение, %	9,0672	0,3418	2,9592	4,2317
Абсолютная погрешность, %	0,2406	0,0624	0,1147	0,2591
Относительная погрешность, %	2,6535	18,2562	3,8760	6,1228
Среднеквадратичное отклонение, %	0,1637	0,0455	0,0691	0,1622
Доверительный интервал	[8,9237; 9,2107]	[0,3020; 0,3816]	[2,8986; 3,0198]	[4,0895; 4,3739]

Анализ таблицы 4 показывает, что растительные отходы значительно различаются по зольности в широком диапазоне – от 0,34 до 9,06 %. Образец №1 – листья, характеризуется повышенной зольностью, однако за счет высокого содержания органической массы и летучих веществ они обладают достаточной теплотой сгорания и высокой реакционной способностью. Энергетически эффективным является Образец №2 – опилки, тогда как остальные исследуемые образцы целесообразно использовать в качестве добавки к основному топливу или после предварительной подготовки.

3 Низшая теплота сгорания угольных отвалных пород и растительных отходов (листья, опилки, солома, камыш).

Результаты определения низшей теплоты сгорания представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 – Низшая теплота сгорания ($Q_p^{\text{н}}$) угольных отвалных пород

№ опыта	Низшая теплота сгорания, кДж/кг				
	Угольный разрез «Восточный»		ТОО «Богатырь Комир»		
	образец №1	образец №2	образец №3	образец №4	образец №5
1	10036,00	9621,00	4250,00	9646,00	15818,00
2	9726,00	9399,00	3693,00	9726,00	16010,00
3	10253,00	9504,00	3814,00	9726,00	14733,00
4	9885,00	9433,00	3580,00	9692,00	15474,00
Среднее значение, кДж/кг	9975,00	9489,00	3834,00	9698,00	15509,00
Абсолютная погрешность, кДж/кг	169,50	73,25	207,75	28,50	405,25
Относительная погрешность, %	1,70	0,77	5,42	0,29	2,61
Средне-квадратичное отклонение, кДж/кг	225,39	98,12	293,17	35,62	694,97
Доверительный интервал	[9754,12; 10177,88]	[9392,84; 9585,16]	[3546,69; 4121,31]	[9663,09; 9732,91]	[14827,93; 16190,07]

Анализ таблицы 5 показал, что значения теплоты сгорания изменяются в диапазоне от 3,8 до 15,5 МДж/кг. Минимальные значения характерны для образцов с высокой зольностью, тогда как максимальные значения соответствуют образцам с повышенным содержанием горючей массы.

Таблица 6 – Низшая теплота сгорания ($Q_p^{\text{н}}$) растительных отходов

№ опыта	Низшая теплота сгорания, кДж/кг			
	образец №1 Листья	образец №2 Опилки	образец №3 Солома	образец №4 Камыш
1	13956,89	17174,81	15364,73	15327,02
2	13895,63	17580,52	15214,34	15226,46
3	13657,84	16987,36	14993,89	14978,80
4	13741,39	17651,24	15322,98	15697,83
Среднее значение, %	13812,94	17348,48	15223,98	15307,53
Абсолютная погрешность, %	113,32	267,39	119,87	204,89
Относительная погрешность, %	0,82	0,02	0,79	1,34
Среднеквадратичное отклонение, %	79,39	184,41	95,83	172,35
Доверительный интервал	[13735,14; 13890,74]	[17167,76; 17529,2]	[15130,07; 15317,89]	[15138,63; 15476,43]

Анализ таблицы 6 показал, что значения теплоты сгорания изменяются в диапазоне от 13,8 до 17,3 МДж/кг. Высокая теплота сгорания среди исследуемых образцов растительных отходов обусловлено высоким содержанием горючих элементов и низкой зольностью (0,3-3 %).

Информация о финансировании

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP26196911).

Выводы

Органические отходы угольной отрасли, представленные угольными отвальными породами, обладают различными теплофизическими характеристиками, определяющими их энергетический потенциал.

Растительные отходы (листья, опилки, солома, камыш) представляют собой возобновляемый энергетический ресурс, получаемый в результате сельскохозяйственной и коммунальной деятельности. Их энергетический потенциал определяется низшей теплотой сгорания, объемами образования, влажностью и зольностью.

Влажность угольных отвалных пород находится в узком диапазоне от 0,88 до 1,05 %, что свидетельствует о низком влагосодержании исследуемого материала и является благоприятным фактором при его хранении и теплотехническом использовании.

Растительные отходы характеризуются повышенной влажностью в диапазоне 4,64–7,39, что обусловлено необходимостью предварительной подготовки и организации специальных систем хранения и подачи.

Зольность угольных отвалных пород изменяется в широком диапазоне от 47,00 до 72,00 %. Повышенные значения зольности характерны для отдельных образцов, что снижает их энергетическую ценность и ограничивает области применения без предварительной подготовки.

Растительные отходы значительно различаются по зольности в широком диапазоне – от 0,34 до 9,06 %. Комбинированное использование угольных отходов и отходов растительной биомассы, обладающих достаточно низким значением зольности, позволяет снизить образование твердых золошлаковых отходов и уменьшить техногенную нагрузку на окружающую среду.

Значения низшей теплоты сгорания угольных отвалных пород находятся в диапазоне от 3,58 до 16,01 МДж/кг. Минимальные значения соответствуют образцам с высокой зольностью, тогда как максимальные значения характерны для образцов с повышенным содержанием горючей органической массы.

Значения теплоты сгорания растительных отходов изменяются в диапазоне от 13,8 до 17,3 МДж/кг, что говорит о значительном энергетическом

потенциале. Наивысшая теплота сгорания среди исследуемых образцов обусловлено высоким содержанием горючих веществ и низкой зольностью (0,3–3 %). Их теплота сгорания позволяет рассматривать данные виды биомассы как альтернативный источник тепловой энергии, способный частично заменить традиционные ископаемые виды топлива.

В последующем полученные данные по теплофизическим свойствам органических отходов будут необходимы для проведения дальнейших исследований с целью разработки устройства для утилизации органических отходов, а также при обосновании режимов его тепловой работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 World Bank. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. [Текст]. – Washington, DC : World Bank, 2018. – 272 p.

2 **Arena, U.** Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. [Текст] Waste Management. – 2012. – Vol. 32. – No. 4. – P. 625–639. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.025>

3 **McKendry, P.** Energy production from biomass (Part 1): Overview of biomass. [Текст] Bioresource Technology. – 2002. – Vol. 83. – No. 1. – P. 37–46.

4 **Demirbas, A.** Combustion characteristics of different biomass fuels. [Текст] Energy Conversion and Management. – 2004. – Vol. 45. – No. 3. – P. 1123–1140.

5 **Basu, P.** Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory. 2nd ed. [Текст] Academic Press, 2018. – 566 p.

6 Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и использовании природных ресурсов Республики Казахстан. [Текст] Астана, 2022. – 310 с.

7 **Сериков, Э. И.** Теплоэнергетические системы и энергоиспользование в промышленно-технологическом производстве. [Текст] Учебное пособие. Алматы : Эверо, 2017. – 258 с.

8 **Бурмистров, В. А.** Теплофизические свойства твёрдого топлива. [Текст] М. : Энергоатомиздат, 2016. – 312 с.

9 **Ранджу, К. Р.** Последние достижения в технологиях предварительной обработки биомассы для устойчивого развития биотопливной промышленности: всесторонний обзор. [Текст] Март 2025 г. Переработка отходов и биомассы 16(8) : 3833–3858 [Электронный ресурс]. – https://www.researchgate.net/publication/390267376_Recent_Updates_in_Biomass_Pretreatment_Techniques_for_a_Sustainable_Biofuel_Industry_A_Comprehensive_Review.

10 ГОСТ Р 54186–2010 (EN 14774-1:2009). Твёрдое биотопливо. Определение влажности. Часть 1. Метод высушивания в сушильном шкафу [Текст].

11 ГОСТ Р 54185–2010 (EN 14775:2009). Твердое биотопливо. Определение зольности [Текст].

12 ГОСТ 147–2013 (ISO 1928:2009). Топливо твердое минеральное. Определение теплоты сгорания калориметрическим методом. [Текст].

REFERENCES

1 World Bank. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. [Text] Washington, DC : World Bank, 2018. – 272 p.

2 **Arena, U.** Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. [Text] Waste Management. – 2012. – Vol. 32. – No. 4. – P. 625–639. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.025>

3 **McKendry, P.** Energy production from biomass (Part 1): Overview of biomass. [Text] Bioresource Technology. – 2002. – Vol. 83. – No. 1. – P. 37–46.

4 **Demirbas, A.** Combustion characteristics of different biomass fuels. [Text] Energy Conversion and Management. – 2004. – Vol. 45. – No. 3. – P. 1123–1140.

5 **Basu, P.** Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory. 2nd ed. [Text] Academic Press, 2018. – 566 p.

6 Ministerstvo ekologii i prirodnih resursov Respubliki Kazakhstan. Nacional'nyj doklad o sostoyanii okruzhayushchej sredy i ispol'zovanii prirodnih resursov Respubliki Kazakhstan. [Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. National Report on the State of the Environment and Use of Natural Resources of the Republic of Kazakhstan] [Text] Astana, 2022. – 310 p.

7 **Serikov, E. I.** Teploenergeticheskie sistemy i energoispol'zovanie v promyshlenno-tekhnologicheskom proizvodstve. [Thermal power systems and energy use in industrial and technological production] [Text] Uchebnoe posobie. Almaty : Evero, 2017. – 258 p.

8 **Burmistrov, V. A.** Teplofizicheskie svoystva tvyordogo topliva. [Thermophysical properties of solid fuel] [Text] M. : Energoatomizdat, 2016. – 312 p.

9 **Randzhu, K. R.** Poslednie dostizheniya v tekhnologiyah predvaritel'noj obrabotki biomassy dlya ustojchivogo razvitiya biotoplivnoj promyshlennosti: vserosnnyj obzor. [Recent advances in biomass pretreatment technologies for sustainable biofuel industry development: A comprehensive review] [Text] Mart 2025 g. Pererabotka othodov i biomassy 16(8) :3833–3858 [Electronic resource]. – https://www.researchgate.net/publication/390267376_Recent_Updates_in_Biomass_Pretreatment_Techniques_for_a_Sustainable_Biofuel_Industry_A_Comprehensive_Review

10 GOST R 54186–2010 (EN 14774-1:2009). Tverdoe biotopливо. Opredelenie vlazhnosti. Chast' 1. Metod vysushivaniya v sushil'nom shkafu. [Solid biofuels. Determination of moisture content. Part 1 : Oven drying method] [Text].

11 GOST R 54185–2010 (EN 14775:2009). Tverdoe biotoplivo. Opredelenie zol'nosti. [Solid biofuels. Ash content determination] [Text].

12 GOST 147–2013 (ISO 1928:2009). Toplivo tverdoe mineral'noe. Opredelenie teploty sgoraniya kalorimetricheskim metodom. [Solid mineral fuel. Determination of heat of combustion by calorimetry.] [Text].

Поступило в редакцию 16.02.26.

Поступило с исправлениями 24.04.26.

Принято в печать 03.06.26.

*А. С. Никифоров¹, А. К. Кинжибекова², *А. У. Габдулов³,*

Д. А. Азаматова⁴, В. А. Ададуров⁵

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

16.02.26 ж. баспаға түсті.

24.04.26 ж. түзетулерімен түсті.

03.06.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

ОРГАНИКАЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫҢ ЖЫЛУ-ФИЗИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ТАЛДАУ

Мақалада органикалық қалдықтардың жылуфизикалық сипаттамаларын талдау нәтижелері олардың энергетикалық кәдеге жаратылу мүмкіндігін бағалау мақсатында ұсынылған. Зерттеудің өзектілігі Қазақстан Республикасында және әлемдік тәжірибеде органикалық қалдықтар көлемінің тұрақты өсуімен, сондай-ақ қалдықтарды энергетикалық айналымға тарту арқылы қоршаған ортаға түсетін экологиялық жүктемені төмендету қажеттілігімен негізделеді. Зерттеуде көмірді өндіру, тасымалдау және өңдеу процесінде түзілетін көмір өнеркәсібінің техногендік органикалық қалдықтарына – көмірлі үйінді жыныстарына ерекше назар аударылған.

Жұмыста органикалық қалдықтардың негізгі жылуфизикалық көрсеткіштері – ылғалдылығы, күлділігі және төменгі жану жылулығы қарастырылған, себебі бұл көрсеткіштер олардың екінші реттік энергетикалық шикізат ретінде пайдаланылу тиімділігін айқындайды. Эксперименттік деректер көмірлі үйінді жыныстарының жылуфизикалық сипаттамаларын анықтау жөніндегі есеп материалдары негізінде, қолданыстағы нормативтік сынақ әдістерін пайдалану арқылы алынған. Зерттеу нәтижелері кестелер түрінде ұсынылып, кейіннен аналитикалық

талдау жүргізілген, бұл қалдықтардың шығу тегіне байланысты қасиеттерінің өзгеру заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік береді.

Жүргізілген талдау көмірлі үйінді жыныстарының ылғалдылығы төмен екенін, алайда күлділігі мен жану жылулығының айтарлықтай өзгермелі болатынын көрсетті. Көмірлі үйінді жыныстарының жекелеген фракциялары жеткілікті энергетикалық әлеуетке ие екендігі анықталып, оларды перспективалы екінші реттік отын ретінде қарастыруға болады.

Өсімдік биомассасының қалдықтары жоғары ылғалдылығымен және күлділігінің айтарлықтай айырмашылығымен сипатталғанымен, экологиялық артықшылықтары мен жеткілікті жану жылулығына байланысты оларды энергетикалық мақсатта пайдалану орынды болып табылады.

Алынған нәтижелер органикалық қалдықтарды кәдеге жаратудың кешенді тәсілінің тиімділігін растайды және оларды энергетикалық пайдалану технологияларын әзірлеу барысында қолданылуы мүмкін.

Кілтті сөздер: органикалық қалдықтар, көмірлі үйінді жыныстары, жылуфизикалық сипаттамалар, ылғалдылық, күлділік, жану жылулығы.

A. S. Nikiforov¹, A. K. Kinzhibekova², *A. U. Gabdulov³,

D. A. Azamatova⁴, V. A. Adadurov⁵

^{1,2,3,4,5}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 16.02.26.

Received in revised form 24.04.26.

Accepted for publication 03.06.26.

ANALYSIS OF THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF ORGANIC WASTE

The paper presents the results of an analysis of the thermophysical characteristics of organic waste aimed at assessing the feasibility of its energy recovery. The relevance of the study is determined by the steady increase in the volume of organic waste in the Republic of Kazakhstan and worldwide, as well as the need to reduce environmental impact by integrating waste into the energy cycle. Particular attention is given to technogenic organic waste from the coal industry, namely coal dump materials formed during coal mining, transportation, and processing.

The study considers key thermophysical properties of organic waste, including moisture content, ash content, and lower heating value, which largely determine the efficiency of their use as secondary energy resources. Experimental data were obtained based on a report on the determination of thermophysical characteristics of coal dump materials using standardized testing methods. The research results are presented in tabular form followed by analytical discussion, which makes it possible to identify patterns in the variation of waste properties depending on their origin.

The analysis showed that coal dump materials are characterized by low moisture content, but exhibit significant variation in ash content and calorific value. It was established that certain fractions of coal dump materials possess sufficient energy potential and can be considered promising secondary fuels.

Despite the fact that plant biomass waste is characterized by high moisture content and significant variation in ash content, its energy utilization is considered feasible due to adequate calorific value and environmental advantages.

The obtained results confirm the feasibility of a comprehensive approach to the utilization of organic waste and can be used in the development of technologies for its energy recovery.

Keywords: organic waste, coal dump materials, thermophysical properties, moisture content, ash content, calorific value.

Теруге 09.06.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

5,86 Mb RAM

Шартты баспа табағы 34,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Б. Шукитова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4557

Сдано в набор 09.06.2026 г. Подписано в печать 30.06.2026 г.

Электронное издание

5,86 Mb RAM

Усл. печ. л. 34,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Б. Шукитова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4557

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz