

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

№ 4 (2025)

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/GMYR4462>

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>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</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>
Шокубаева З. Ж.	<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/WQZN6734>

**А. Е. Карманов¹, А. С. Никифоров², Ж. А. Тулебаева³,
А. У. Габдулов⁴, *Н. М. Арипова⁵**

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

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7512-0275>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6977-0957>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4289-9777>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3266-8270>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2760-8617>

*e-mail: nazgul_2010@mail.ru

АНАЛИЗ СЖИГАНИЯ УГОЛЬНЫХ ОТХОДОВ С МИНИМИЗАЦИЕЙ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

В данной статье приведены исследования сжигания угольных отходов с минимизацией выбросов. В настоящее время одной из актуальных проблем в Республике Казахстан является необходимость утилизации отходов углеобогащения. Многочисленные исследования показывают, что отходы углеобогащения можно эффективно использовать в различных отраслях: в энергетической, в черной и цветной металлургии, в строительной промышленности и др.

Сжигание угольных отходов является одним из наиболее перспективных способов утилизации продуктов углеобогащения и шахтных остатков. Однако традиционные методы сопровождаются значительными выбросами загрязняющих веществ.

Авторы различных исследований предлагают использование технологий и методов, направленных на снижение вредных выбросов в атмосферу при сжигании угольных отходов, таких как зола, шлак и другие продукты переработки угля. Основные подходы включают в себя: использование более эффективных технологий сжигания, применение систем очистки дымовых газов, а также внедрение более чистых видов топлива.

Сжигание угольных отходов при использовании современных технологий может стать экологически безопасным источником энергии. Наиболее перспективными направлениями являются FBC,

IGCC и oxy-combustion, а также комплексные системы очистки дымовых газов.

Ключевые слова: угольные отходы, выбросы, технологий сжигания, пустая порода, теплота сгорания, шламы, кипящий слой.

Введение

Согласно исследованиям, каждый год около 46 % добытого угля превращается в отходы (очистки, шламы, пустая порода и т.п.). С учётом добычи 8,993 млрд тонн, это означает образование приблизительно 4,1 млрд тонн угольных отходов ежегодно.

Только в Китае ежегодно образуется до 7 млрд тонн пустой угольной породы, организованной в отвал поблизости от действующих шахт рисунок 1.



Рисунок 1 – Отвал угольной породы

Материал отвалов – это верхние (вскрышные породы) слои грунта, горных пород и породы, находящиеся с боков и снизу месторождения (вмещающие породы), которые покрывают полезное ископаемое и должны быть удалены для обеспечения доступа к нему.

В США сама добыча угля образует примерно 0,4 т отходов на 1 т добытого угля, включая отвалы, хвосты обогащения, шламы и т.п. → при добыче 438 млн тонн, это означает около 175 млн тонн отходов в год только в США [1]. Ежегодно в мире образуется порядка 4 млрд тонн угольных отходов, включая пустую породу, шламы, угольную крошку, золошлак и др.

Эффективная утилизация и переработка этих отходов (например, сжигание с минимизацией выбросов) – приоритетная задача с точки зрения экологии и лечения окружающей среды.

Материалы и методы

Казахстан по запасам угля в размере 29,4 млрд тонн (или 2,4 % мировых запасов), где 2/3 приходится на бурый уголь, 1/3 – на каменный уголь.

Крупнейшие угольные бассейны расположены в центральной и северной частях страны: Экибастузский (10 млрд тонн), Карагандинский (6,9 млрд тонн) и Тургайский (5,9 млрд тонн) (77,5 % разведанных запасов угля).

Уголь содержит в себе «чистое» топливо – это 75–95 % углерода и негорючие элементы [1].

В настоящее время одной из актуальных проблем в РК является необходимость утилизации отходов углеобогащения. Многочисленные исследования показывают, что отходы углеобогащения можно эффективно использовать в различных отраслях: в энергетической, в черной и цветной металлургии, в строительной промышленности и др.

Повышение роли угля в топливноэнергетическом балансе страны является одной из приоритетных задач Энергетической стратегии страны [2].

Сжигание угольных отходов является одним из наиболее перспективных способов утилизации продуктов углеобогащения и шахтных остатков. Однако традиционные методы сопровождаются значительными выбросами загрязняющих веществ. Цель статьи – рассмотреть современные технологии, позволяющие минимизировать воздействие на окружающую среду.

Угольные отходы при неконтролируемом хранении и сжигании становятся источником значительного загрязнения воздуха и почвы. Основные загрязнители включают диоксид серы (SO_2), оксиды азота (NO_x), твёрдые частицы, ртуть и другие тяжёлые металлы. Для их снижения разрабатываются новые методы сжигания и очистки дымовых газов.

Согласно классификации по минеральному и химическому составу отвалы породы, по типу Подмосковского и Челябинского угольных бассейнов, образуют песчано-глинистыми, глинистыми и известково-песчано-глинистыми типами. Диапазон усредненного содержания основных компонентов отходов каждого южного бассейна России приведен в таблице 1 [3; 4; 5].

Таблица 1 – Содержание основных компонентов отходов южного бассейна России

Бассейн	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO%	MgO%	C%
Кузнецкий	32-78	15-22	2-7	1-4	0.5-3	8-22
Печорский	61-65	20-24	6-8	1-2	2-4	10-18
Иркутский	56-58	18-21	2-4	3-5	2-3	13-16
Донецкий	43-48	18-20	2-8	2-3	2-3	2-10

Теплота сгорания углеродсодержащих отходов составляет от 5 до 12 МДж/кг. Это значение относительно низкое, что говорит о том, что,

материал непригоден для энергетики без обогащения или использования современных технологий сжигания.

Результаты и обсуждение

Рассмотрим возможные схемы утилизации углесодержащих отходов с генерацией теплоты.

1 Прямое сжигание в котлах

Отходы углеобогащения используют как энергетическое сырье путем сжигания в качестве низкосортного топлива (при определенном содержании горючих составляющих) [4;][5]. При малом содержании горючей части возможно сжигание смеси отвальных пород (до 20 %) с углём[6];[7].

Недостатками данного способа являются:

- сложность, а чаще всего невозможность, сжигания отвальных пород без добавок;
- высокое содержание негорючей части в топливе;
- необходимость специальных теплогенерирующих устройств для сжигания [8].

2 Сжигание в циркулирующем кипящем слое (ЦКС)

Циркулирующий кипящий слой (ЦКС), позволяющий сжигать топливо при низких температурах, снижая выбросы SO_2 и NO_x .

Исследования показывают, что внедрение технологий ЦКС и IGCC позволяет повысить КПД на 10 % и сократить выбросы NO_x и SO_2 более чем на 90 %. Совместное сжигание угля и угольных шламов также снижает антропогенные выбросы без ухудшения энергетической эффективности [9; 10].

FBC (ЦКС) снижает выбросы SO_2 на 90 %, NO_x – до 50 %, но требует сложного оборудования. IGCC обеспечивает высокую степень очистки, но имеет высокие капитальные затраты. Оxy-combustion и CLC дают концентрированный CO_2 , упрощая его улавливание. Технология FLOX уменьшает NO_x за счёт равномерного температурного поля.

Основным недостатком данного способа является сложность конструкции и эксплуатации установки.

3 Интегрированная газификация с комбинированным циклом (IGCC), где угольные отходы превращаются в синтез-газ с очисткой от примесей.

4 Сжигание отходов углеобогащения в ретортных горелках

Ретортные горелки применяются для сжигания угольных отходов, особенно мелкодисперсных фракций. Они обеспечивают стабильное горение за счет равномерной подачи топлива и воздуха в зону горения. В сочетании с рециркуляцией уходящих газов (REUNKOM) достигается снижение температуры пламени и сокращение образования оксидов азота. Такая технология также повышает полноту сгорания топлива и уменьшает

количество механического недожога. Технологий сжигания угольных отходов приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная таблица технологий сжигания угольных отходов

Технология	КПД	Снижение SO ₂	Снижение NO ₂	Особенности
FBC (ЦКС)	До +10 %	До 90 %	До 50 %	Гибкость по топливу
IGCC	Высокий	>90 %	>80 %	Газификация, высокий CAPEX
Оxy-combustion	Высокий	>95%	>70%	Концентрированный CO ₂
FLOX	Средний	-	До 60 %	Безпламенное горение
Ретортные горелки с REUNKOM	До +8 %	До 85 %	До 70 %	Снижение NO ₂ за счет рециркуляции

Информация о финансировании

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

Выводы

Результаты исследования имеют важное прикладное значение для энергетической отрасли Казахстана и стран СНГ. Использование современных технологий сжигания угольных отходов (ЦКС, IGCC, oxy-combustion, FLOX, ретортные горелки) позволяет:

- сократить выбросы SO₂, NO_x и твёрдых частиц до 90 %, что значительно улучшает экологическую ситуацию;
- модернизировать существующие котельные установки, в том числе паровые котлы типа ДКВР, оснащая их ретортными горелками;
- использовать угольные отвалы и шламы как дополнительное топливо без снижения КПД;
- повысить КПД на 8–12 % за счёт IGCC, ЦКС и применения ретортных горелок;
- обеспечить выполнение международных экологических стандартов.

Сжигание угольных отходов при использовании современных технологий может стать экологически безопасным источником энергии. Наиболее перспективными направлениями являются FBC, IGCC и oxy-combustion, а также комплексные системы очистки дымовых газов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Дмитриева, В. А.** К вопросу об образовании отходов угольной промышленности [Текст] // Символ науки. – 2017. – №1. – С. 56–58.
- 2 Концепция развития электроэнергетической отрасли Республики Казахстан до 2035 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <https://www.kazenergy.com/upload/document/electric/project2035>
- 3 Патент №RU2607836C1 Российская Федерация. Установка по обогащению углеродсодержащих отходов шахтных и обогатительных фабрик.
- 4 Утилизация отходов топливно-энергетического комплекса. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <https://ecoportal.su/public/waste/view/422.html>
- 5 **Балакирев, В. А.** Технологии сжигания твёрдого топлива в энергетике. – М.: Энергоатомиздат. – 2020. – 320 с.
- 6 **Кондратьев, А. И.** Очистка дымовых газов от вредных выбросов. – СПб. : Наука.–2019. – 280 с.
- 7 **Минаев, С. С., Головин, Д. Ю.** Перспективы использования угольных отходов в энергетике [Текст] // Вестник энергетике. – 2021. – № 4. – С. 15–23.
- 8 **Smith, J., & Brown, L.** Advances in Fluidized Bed Combustion for Waste Coal Utilization. // Energy Reports. – 2022. – № 8. – P. 145–159.
- 9 **Zhao, H.Wang, Y.** Oxy-Combustion and Chemical Looping for Low-Emission Power Plants. // Applied Energy. – 2021. – № 295. – 117023.
- 10 **Иванов, Н. В.** Методы снижения выбросов при сжигании угля и его отходов [Текст] // Экология и промышленность. – 2020. – № 6. – С. 42–51.

REFERENCES

- 1 **Dmitrieva, V.A.** K voprosu ob obrazovanii othodov ugolnoj promyshlennosti [On the issue of waste generation in the coal industry] [Text] // Simvol nauki. – 2017. – № 1. – P. 56–58.
- 2 Konceptiya razvitiya elektroenergeticheskoy otrasli Respubliki Kazahstan do 2035 goda. Rezhim dostupa [The concept of development of the electric power industry of the Republic of Kazakhstan until 2035]. [Electronic resource]. – Access mode:] – <https://www.kazenergy.com/upload/document/electric/project2035>
- 3 Patent №RU2607836C1 Rossijskaya Federaciya. Ustanovka po obogashcheniyu uglesoderzhashchih othodov shahtnyh i obogatitel'nyh fabrik [Patent № RU2607836C1 Russian Federation. The plant for the enrichment of carbon-containing waste from mines and processing plants].

4 Utilizaciya othodov toplivno-energeticheskogo kompleksa. Rezhim dostupa [Waste disposal of the fuel and energy complex]. [Electronic resource]. – Access mode:] – <https://ecportal.su/public/waste/view/422.html>

5 **Balakirev, V. A.** Tekhnologii szhiganiya tvyordogo topliva v energetike [Technologies of solid fuel combustion in the energy sector]. – М. : Energoatomizdat. – 2020. – 320 p.

6 **Kondrat'ev, A. I.** Ochistka dymovyh gazov ot vrednyh vybrosov [Purification of flue gases from harmful emissions]. – SPb.: Nauka. – 2019. – 280 p.

7 **Minaev, S. S., Golovin, D. YU.** Perspektivy ispol'zovaniya ugol'nyh othodov v energetike [Prospects for the use of coal waste in the energy sector] [Text] // Vestnik energetiki. – 2021. – №4. – P. 15–23.

8 **Smith, J., & Brown, L.** Advances in Fluidized Bed Combustion for Waste Coal Utilization. Energy Reports. – 2022. – №8. – P. 145–159.

9 **Zhao, H. Wang, Y.** Oxy-Combustion and Chemical Looping for Low-Emission Power Plants. Applied Energy. – 2021. – №2957. – P. 117–023.

10 **Ivanov, N. V.** Metody snizheniya vybrosov pri szhiganii uglya i ego othodov [Methods of reducing emissions from burning coal and its waste] [Text] // Ekologiya i promyshlennost'. – 2020. – №6. – P. 42–51.

Поступило в редакцию 01.10.25.

Поступило с исправлениями 23.10.25.

Принято в печать 05.12.25.

А. Е. Карманов¹, А. С. Никифоров², Ж. А. Тулебаева³,

*А. У. Габдулов⁴, *Н. М. Арипова⁵*

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

01.10.25 ж. баспаға түсті.

23.10.25 ж. түзетулерімен түсті.

05.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЗИЯНДЫ ЗАТТАР ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫН АЗАЙТА ОТЫРЫП, КӨМІР ҚАЛДЫҚТАРЫН ЖАҒУДЫ ТАЛДАУ

Бұл мақалада шығарындыларды азайта отырып, көмір қалдықтарын жағу бойынша зерттеулер келтірілген. Қазіргі уақытта ҚР-дағы өзекті мәселелердің бірі көмірді байыту қалдықтарын кәдеге жарату қажеттілігі болып табылады. Көптеген зерттеулер Көмірді байыту қалдықтарын әртүрлі салаларда тиімді пайдалануға

болатындығын көрсетеді: энергетика, қара және түсті металлургия, құрылыс өнеркәсібі және т. б.

Көмір қалдықтарын жағу-көмір байыту өнімдері мен шахта қалдықтарын жоюдың ең перспективалы әдістерінің бірі. Дегенмен, дәстүрлі әдістер ластаушы заттардың айтарлықтай шығарындыларымен бірге жүреді.

Мақаланың мақсаты-қоршаған ортаға әсерді азайтуға мүмкіндік беретін заманауи технологияларды қарастыру

Әртүрлі зерттеулердің авторлары күл, қож және басқа да көмір өңдеу өнімдері сияқты көмір қалдықтарын жағу кезінде атмосфераға зиянды шығарындыларды азайтуға бағытталған технологиялар мен әдістерді пайдалануды ұсынады. Негізгі тәсілдерге мыналар жатады: жанудың тиімді технологияларын қолдану, түтін газын тазарту жүйелерін қолдану және отынның таза түрлерін енгізу.

Көмір қалдықтарын заманауи технологиялармен жағу экологиялық таза энергия көзі бола алады. Ең перспективалы бағыттар-FBC, IGCC және oxy-combustion, сондай-ақ түтін газын тазартудың кешенді жүйелері.

Кілтті сөздер: көмір қалдықтары, шығарындылар, жану технологиялары, бос жыныстар, жану жылуы, иламдар, қайнаған қабат.

A. E. Karmanov¹, A. S. Nikiforov², Zh. A. Tulebaeva³,

A. U. Gabdulov⁴, *N. M. Aripova⁵

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

Received 01.10.25.

Received in revised form 23.10.25.

Accepted for publication 05.12.25.

ANALYSIS OF COAL WASTE INCINERATION WITH MINIMIZING EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES

This article presents research on the incineration of coal waste with minimal emissions. Currently, one of the pressing issues in the Republic of Kazakhstan is the need to dispose of coal enrichment waste. Numerous studies show that coal enrichment waste can be effectively used in various industries: energy, ferrous and non-ferrous metallurgy, construction, etc.

The incineration of coal waste is one of the most promising methods of disposing of coal enrichment products and mine residues. However, traditional methods are accompanied by significant emissions of pollutants.

The authors of various studies propose the use of technologies and methods aimed at reducing harmful emissions into the atmosphere during the incineration of coal waste, such as ash, slag, and other coal processing products. The main approaches include: the use of more efficient combustion technologies, the application of flue gas cleaning systems, and the introduction of cleaner fuels.

The incineration of coal waste using modern technologies can become an environmentally safe source of energy. The most promising areas are FBC, IGCC, and oxy-combustion, as well as integrated flue gas cleaning systems.

Keywords: coal waste, emissions, combustion technologies, waste rock, calorific value, sludge, fluidized layer.

Теруге 17.12.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4494

Сдано в набор 17.12.2025 г. Подписано в печать 30.12.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4494

«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