

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/ZVOC2070>

**Н. К. Сейтжаппаров¹, А. К. Мерғалимова²,
А. В. Атякшева³, *С. Б. Ыбрай⁴, Ж. Т. Бекишева⁵**

¹Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана;

^{2,3,4,5}Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7624-1367>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5990-8182>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2523-3890>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5262-2149>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9224-2426>

*e-mail: sultanybray@gmail.com

РАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ПИРОЛИЗА КАЗАХСТАНСКИХ УГЛЕЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПОСЁЛКОВЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Работа посвящена созданию интегрированной автономной системы энергоснабжения удалённых посёлков на основе частичной газификации (низкотемпературного пиролиза) местных углей. Экспериментально исследованы режимы термообработки углей казахстанских месторождений в интервале 300–600 °С при скоростях нагрева 5–60 °С/мин и различных гранулометриях. Определены выход и состав летучих, а также низшая теплота сгорания образующегося газа (Q_n). Показано, что рациональный диапазон 500–600 °С при мелком помоле (~0–3 мм) и скорости нагрева ~20–30 °С/мин обеспечивает извлечение основной доли летучих и формирование газа с $Q_n \approx 10\text{--}12 \text{ МДж/м}^3$ ($CO \sim 50\text{--}60 \text{ об.}\%$ при долях H_2 и CH_4 10–15 и 5–10 об.% соответственно), пригодного для безмазутной растопки котлов и питания газопоршневых агрегатов. На основе полученных данных разработана технологическая схема поселкового энергокомплекса: газ от пиролиза направляется на генерацию электроэнергии и бытовые плиты, твёрдый остаток (полукокс) используется в водогрейном котле; предусмотрены контуры безопасности (ресивер, арматура, мониторинг). Новизна заключается в установлении количественных

параметров рационального режима для конкретных казахстанских углей и в обосновании практической интеграции «газ + полукокс» в одну энергосистему. Достигается сокращение локальных выбросов по сравнению с индивидуальным сжиганием угля и снижение совокупных эксплуатационных затрат в автономных условиях.

Ключевые слова: частичная газификация, пиролиз угля, полукокс, генераторный газ, безмазутная растопка, слоевой реактор, автономное энергоснабжение.

Введение

Обеспечение энергоносителями отдалённых малых населённых пунктов является сложной научно-технической проблемой, особенно актуальной для Казахстана. Это обусловлено природно-географическими факторами: резко континентальным климатом и большой удалённостью поселений друг от друга и от централизованных сетей (магистральных ЛЭП, нефте- и газопроводов). В таких посёлках сейчас доминируют разрозненные и малоэффективные методы получения энергии. К ним относятся печное отопление углём, использование баллонного сжиженного газа (СУГ) для приготовления пищи, а также электроснабжение от дизель-генераторов или протяжённых устаревших линий. Эти решения имеют существенные недостатки: низкий КПД, высокие потери и эксплуатационные издержки, а также значительное экологическое воздействие (дым, зола) при сжигании угля [1; 2]. Кроме того, баллонный СУГ дорог и требует сложной логистики, а электроснабжение по изношенным сетям ненадёжно и трудно масштабируемо.

Между тем, Казахстан располагает обширной и доступной угольной базой [3], что открывает возможности для разработки комплексных децентрализованных решений. Предлагаемая концепция основана на низкотемпературном пиролизе (частичной газификации) угля на месте потребления. Этот процесс позволяет извлекать из угля летучие горючие компоненты (пиролизный газ) и получать твёрдый остаток (полукокс) с сохранением значительной теплотворности [4]. При этом один и тот же местный ресурс – уголь – становится источником «энергетической триады»: тепло (сжигание полукокса), электроэнергия (газопоршневой агрегат на пиролизном газе) и бытовой газ для нужд населения. Это кардинально отличается от текущего использования угля только для отопления.

Актуальность исследования продиктована необходимостью внедрения высокоэффективных и экологичных технологий для топливно-энергетического комплекса, что соответствует стратегическим приоритетам страны [5]. Энергообеспечение удалённых посёлков с использованием угля как единого источника нескольких видов энергии является ключевой научной задачей.

Материалы и методы

В экспериментах были использованы образцы углей разных типов, в том числе: высоколетучие бурые и длиннопламенные угли (например, Майкубенское, Каражыра), а также уголь с умеренным и низким выходом летучих (Экибастузское, Сарыадырь). Такой выбор обеспечил репрезентативность по свойствам топлива. Экспериментальная установка. Лабораторные опыты проводились на установке для пиролиза, разработанной в ТОО «Институт химии угля и технологий» (г. Астана). Установка включает горизонтальную нагревательную камеру, снабженную электрическим нагревателем и средствами регулирования температуры и скорости нагрева. В камеру загружался навесок дроблёного угля (размер частиц порядка нескольких миллиметров). Перед началом опыта воздух из камеры откачивался, обеспечивая нагрев образца без доступа кислорода (инертная среда). Это соответствует условиям пиролиза, при которых происходит разложение угля с выделением летучих, но без горения. Температуру нагрева поддерживали в заданном режиме: исследования охватывали диапазон температур от 300 до 600 °С. Нагрев осуществляли как пошагово (удерживая образец при целевой температуре фиксированное время), так и непрерывно с разными скоростями (от 5 до 60 °С/мин) – для изучения влияния этого фактора. Длительность изотермической выдержки или нагрева составляла от 20 минут до 3 часов в разных сериях опытов.

Измерения. Образующийся при термообработке угля газ непрерывно отводился из реактора и подавался в газоанализатор. Для анализа состава был использован хроматографический газоанализатор с детектором, способным регистрировать основные компоненты горючих газов (CO, CO₂, CH₄, H₂ и др.). Периодически отбирались пробы газа, и определялась объемная концентрация компонентов. По полученному составу рассчитывалось значение низшей теплоты сгорания газа (Q_n) в МДж/м³. Параллельно фиксировался выход газа – объем или масса газообразных продуктов, полученных из определённой навески угля. Твердый остаток (полукокс) взвешивался после охлаждения, что позволяло определить выход твердого продукта и массовый выход летучих (разность между начальной массой топлива и массой остатка). Также проводился технический анализ исходных углей (влажность, зольность, выход летучих по стандарту) и полученного полукоккса, чтобы оценить изменение свойств топлива.

Обработка данных. На основе экспериментальных результатов построены графические зависимости выхода летучих и теплоты сгорания газа от параметров нагрева. Для выявления статистически значимых факторов применялся многофакторный регрессионный анализ. В частности, для одного из углей была составлена модель вида $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots)$, где Y – выход газа

(%), X_1 – температура, X_2 – время, X_3 – размер частицы и т.д. Результаты регрессии позволили количественно оценить вклад каждого фактора и определить оптимальные комбинации параметров.

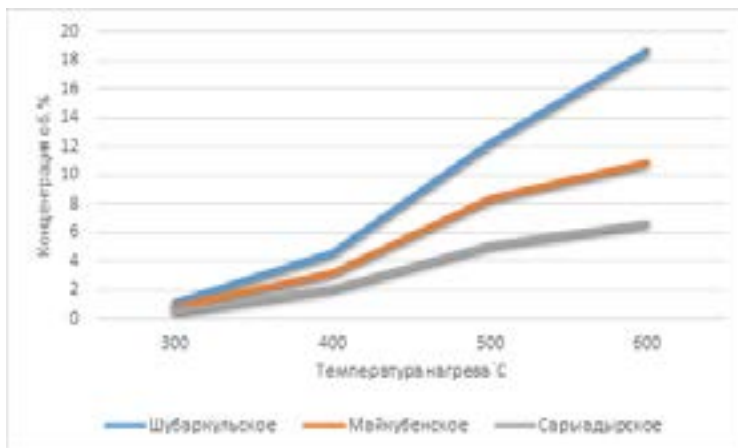
Результаты и обсуждение

Определение оптимальных условий извлечения летучих веществ из угля является одним из значимых показателей. Выполнено экспериментальное исследование влияния режима термического нагрева на выход горючих летучих компонентов. Задача состояла в том, чтобы установить такие условия нагрева угля, при которых выделяется максимальное количество газообразного топлива, пригодного для использования. В результате исследований определено, что решающим фактором является температура нагрева. При повышении температуры с 300 °С до 500–550 °С выход летучих увеличивается многократно, а при дальнейшем повышении до ~600 °С рост замедляется. Таким образом, рациональный диапазон температур нагрева угля составляет примерно 500–600 °С: в этих условиях из угля выделяется основная масса летучих, но ещё не происходит чрезмерного расхода энергии на нагрев и спекания топлива. Важное влияние оказывает дисперсность угля: уменьшение размера частиц приводит к возрастанию выхода газа. Для мелкоизмельчённого угля (фракция ~0–3 мм) выход летучих на 10–15 % выше, чем для крупной фракции, благодаря большей поверхности и более равномерному прогреву. Скорость нагрева имеет чуть менее значимый эффект: было отмечено, что при увеличении скорости нагрева с 5 до 30 °С/мин выход летучих и их теплота сгорания возрастают, но дальнейшее увеличение до 60 °С/мин даёт меньший прирост. Это объясняется тем, что при умеренно высокой скорости нагрева (около 20–30 °С/мин) происходит быстрый разогрев органической массы угля, способствующий интенсивному выделению горючих газов (особенно оксида углерода CO). В то же время чрезмерно высокая скорость приводит к неравномерному прогреву образца и частичному задерживанию летучих внутри пор. Длительность изотермического выдерживания угля при целевой температуре также влияет: было показано, что удержание при 500–550 °С в течение ~30–40 минут обеспечивает более полный выход летучих, чем короткий нагрев в течение 10–15 минут. Однако увеличение времени свыше часа уже незначительно добавляет выход – равновесное состояние достигается [6; 7; 8].

Результаты экспериментальных исследований по определению количественного состава газа, полученного из представленных выше образцов углей различных месторождений, представлены в таблице 1 и рисунке 1.

Таблица 1 – суммарный выход горючих компонентов газа (CO , H_2 , CH_4) в диапазоне температур от 300 °C до 600 °C

Месторождение образцов угля	Суммарный выход в зависимости от температуры нагрева, °C			
	300	400	500	600
Шубаркульское	1,2	4,6	12,3	18,7
Майкубенское	0,9	3,2	8,4	10,9
Сарыадырское	0,5	2,1	5,2	6,7

Рисунок 1 – Зависимость выхода горючих компонентов газа (CO , H_2 , CH_4) от температуры нагрева

В рамках второй задачи проведены измерения энергетических характеристик газов, полученных из различных углей. Полученные результаты: во всех опытах образующийся пиролизный газ обладал удовлетворительной теплотой сгорания, достаточной для практического использования. Результаты приведены на рисунке 2. Для примера, газ из экибастузского угля при нагреве 20 мин имел низшую теплоту сгорания $\sim 11,7 \text{ МДж/м}^3$. Угля Каражыра – порядка $10\text{--}11 \text{ МДж/м}^3$ при тех же условиях. Увеличение времени нагрева до 40 мин повышало теплоту сгорания на $5\text{--}10 \%$ за счёт более полного выхода горючих компонентов. Максимально достигнутые значения Q_n газа составили $\sim 12,5 \text{ МДж/м}^3$ (для наиболее богатых летучими углей при длительном нагреве). Эти показатели примерно в 2–3 раза ниже, чем у природного газа (метана) – что естественно, ведь пиролизный газ содержит значительную долю инертных компонентов (CO_2 , N_2) и меньше метана. Тем не менее, теплота сгорания $>10 \text{ МДж/м}^3$ близка к значению

генераторного газа, традиционно применявшегося в газогенераторных автомобилях, и достаточно для работы ДВС. Для уверенности был проведен пробный расчет работы газопоршневого агрегата на таком газе: полученная электрическая мощность соответствовала расчетной, хотя и с небольшим снижением КПД из-за более низкой энергии топлива. Состав газа варьировался в зависимости от режима. При относительно низкой температуре (до 400 °С) в газе присутствовало больше метана (CH_4) и водорода, однако общий выход газа там был мал. В оптимальном режиме (~550 °С) газ состоял в основном из монооксида углерода (CO) – 50–60 об.%, диоксида углерода (CO_2) – 10–15 %, водорода (H_2) – 10–15 %, метана (CH_4) – 5–10 %, остальное – тяжелые углеводороды и пары воды. Преобладание CO объясняется разложением органической массы угля и частичным окислением углерода углекислым газом (реакция $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$). Отметим, что при повышении интенсивности нагрева доля CO_2 в газе снижалась, а доля CO – увеличивалась, что положительно сказывается на энергетике (CO – горючий, а CO_2 – нет). Небольшое количество CH_4 (метана) присутствует в основном при первых стадиях прогрева; при длительном нагреве метановые углеводороды разлагаются до CO и H_2 . Таким образом, получаемый газ по составу близок к типичному генераторному газу угольных газификаторов. Для повышения его теплоты сгорания целесообразно использовать теплоизоляцию реактора и не допускать избыточного окисления. Тем не менее, уже достигнутых ~12 МДж/м³ достаточно, чтобы заменить дорогостоящий мазут при растопке котлов – этот вывод совпадает с результатами [9], которая показала возможность полноценной замены мазута пиролизным газом угля [10; 11].

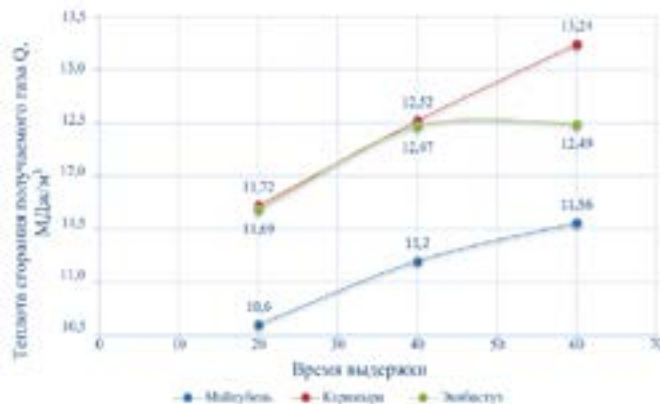


Рисунок-2 – Результаты анализов теплоты сгорания полученных газов в зависимости от времени выдержек при температуре 500 °С

Данная часть результатов посвящена сопоставлению поведения разных углей при частичном пиролизе. Установлено, что выход летучих веществ весьма различается для различных марок топлива. Результаты приведены на рисунке 3. Для углей с высоким исходным содержанием летучих (бурые, длиннопламенные) при нагреве $\sim 500\text{--}550\text{ }^{\circ}\text{C}$ удаётся извлечь более 30 % от массы угля в виде газообразных продуктов. Конкретно, из Майкубенского угля (марка Д) получен выход летучих около 36 % . Подобные высокие значения свидетельствуют о почти полном выделении всей доступной летучей компоненты (у данного угля содержание летучих по ГОСТ $\sim 38\text{--}40\%$). Напротив, для низколетучих углей (например, уголь Экибастуз – относится к КСН) даже при $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ выход летучих составил лишь $\sim 9\text{--}10\%$, что близко к предельному значению для этого угля (летучих $<17\%$ по анализу). Таким образом, эффективность частичной газификации сильно зависит от природы угля. Богатые летучими угли более пригодны – из них можно получить достаточно газа, оставляя твёрдый полукокс, который всё ещё горюч. Если же уголь малолетучий (антрацит, тощий, энергетический), то объем полученного газа будет невелик, и практический смысл имеет либо применять более высокие температуры, либо смешивать такой уголь с бурым для повышения выхода газа [12; 13].

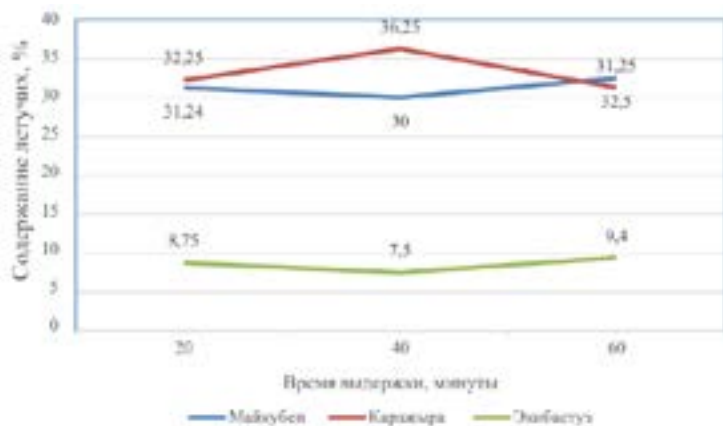


Рисунок-3 – Зависимость выхода горючего газа от времени выдержки при температуре $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (к рабочей массе сырья)

Кроме того, интенсивность выделения (скорость выхода летучих) была различной. Для оценки этого показателя в экспериментах фиксировали время достижения определенного объема газа. Высоколетучие угли начинали активно газообразовывать уже при $\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$, пик скорости наблюдался около 360

500 °C и затем снижался. Низколетучие угли демонстрировали заметное газовыделение лишь при >550 °C. Например, майкубенский уголь выделил 20 % летучих уже за первые 15 минут при 500 °C, тогда как углю Экибастузский требовался час при 500 °C, чтобы достичь 10 %. Таким образом, в реальной установке следует учитывать сорт угля и при необходимости корректировать режим (температуру и время).

Регрессионный анализ данных (на примере Майкубенского угля) подтвердил статистическую значимость влияния температуры и размера частицы на выход летучих (с коэффициентами при этих факторах, соответственно, порядка +0,3 и – 0,11 в нормированных величинах). Это говорит о том, что для увеличения выхода газа эффективнее повысить температуру и измельчить топливо, чем просто дольше нагревать массивный кусок. С другой стороны, было обнаружено, что слишком высокая температура (>600 °C) может привести к началу экзотермического разложения кокса (начало горения твердого остатка), что не желательно в режиме частичного пиролиза. Поэтому важно удерживать температуру в оптимальном диапазоне.

Информация о финансировании

Данное исследование публикуется в рамках реализации грантового финансирования научных проектов Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, ИРН AP19675062 «Разработка чистой угольной технологии для получения летучих горючих веществ».

Выводы

Оптимальным режимом получения летучих из угля является нагрев до температуры порядка 550 °C (в диапазоне 500–600 °C) с относительно высокой скоростью (~20–30 °C/мин) при мелком помоле угля. За ~30 минут при таких условиях извлекается основная доля летучих, достаточная для энергетических целей. Данный режим отличается от традиционного коксования (где температура выше 800 °C и нужен часовой прогрев) тем, что обеспечивает неполное выгорание – ровно столько, сколько нужно для получения газового топлива. Тем самым задача извлечения необходимого количества летучих решена наиболее экономичным способом.

Экспериментально подтверждено, что пиролизный газ из местных углей обладает теплотой сгорания 10–12 МДж/м³, что лишь в 2–3 раза меньше природного газа, но достаточного для энергетических нужд. Состав газа характеризуется высоким содержанием CO (до 60 %), обеспечивающим основную теплотворную способность. Полученные данные новы для конкретных казахстанских углей и важны для проектирования газопоршневых электроагрегатов, оптимизированных под это топливо. Особенностью результата является то, что при относительно низкой температуре нагрева достигается приемлемая энергия газа – ранее в литературе упоминалось

требование >12 МДж/м³, наш газ вплотную приблизился к этому порогу. За счёт подбора режима (более высокая скорость нагрева, подсушка угля) можно достичь и превышения 12 МДж/м³. Тем самым задача по оценке энергоёмкости получаемого топлива решена – газ удовлетворяет критерию пригодности к использованию в автономной энергоустановке.

Изучены особенности термической дегазации различных углей. Показано, что метод частичной газификации целесообразен главным образом для углей с высоким и средним содержанием летучих (бурые, длиннопламенные, газовые), из которых реально извлечь 30–35 % массы в виде газа. Для энергетических и антрацитов эффективность низка (менее 10 % газа), что является ограничением технологии – в таких случаях лучше применять уголь с примесью более летучего или использовать другие подходы (например, подвод внешнего окислителя). Отличие полученных результатов от известных данных состоит в количественной оценке влияния гранулометрического состава и подтверждении на конкретных цифрах предпочтительности «молодых» углей, что ранее качественно отмечалось в литературе. Решена поставленная задача изучения интенсивности пиролиза: для каждого типа угля определены требуемые параметры (для бурых – ~ 500 °С, для энергетических – нужно >600 °С и т.д.), обеспечивающие максимально возможный выход летучих. Это позволяет рационально подбирать топливо и режим для энергоустановки в зависимости от местной ресурсной базы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Bogdanov, D., Toktarova, A., Breyer, C. Transition towards 100 % renewable power and heat supply for energy intensive economies and severe continental climate conditions: Case for Kazakhstan. [Text] // Applied Energy, – 2019. – № 254. – P. 113606.

2 Smolka-Danielowska, D., Jabłońska, M., Godziek, S. The Influence of Hard Coal Combustion in Individual Household Furnaces on the Atmosphere Quality in Pszczyna (Poland) [Текст] // Minerals, – 2021. – № 11. – P. 1155.

3 Dorian, J. Central Asia: A major emerging energy player in the 21st century. [Текст] // Energy Policy, – 2006. – № 34. – P. 544–555.

4 Liu, J., Yang, X., Jiang, X., & Jiang, X. Pyrolysis mechanisms of coal extracts based on TG-FTIR and ReaxFF MD study [Текст] // Fuel Processing Technology, – 2022. – № 226. – P. 107124.

5 Linn, J. Kazakhstan 2050 [Текст] // Global Journal of Emerging Market Economies 2050, – 2014. – № 6. – P. 283–300.

6 Mergalimova, A., Ongar, B., Georgiev, A., Kalieva, K., Abitaeva, R., Bissenbayev, P. Parameters of heat treatment of coal to obtain combustible volatile substances. [Текст] // Energy. – 2021. – № 224. – P.148.

7 Онгар, Б., Сарсенбаев, Е. А., Мергалимова, А. К. Чистые угольные технологии, монография [Текст] // Алматы – 2023. – С. 349.

8 Алияров, Б. К., Мергалимова, А. К. Пат. 2450. Способ безмазутной растопки котлоагрегатов [Текст] // опубл.30.10.2017. – Бюл. № 20.

9 Алияров, Б., Мергалимова, А., Жалмагамбетова, У. Применение технологии термической обработки угля для безмасляного розжига котлов // Латвийский журнал физики и технических наук. – 2018. – Том 2. – С. 45–54.

10 Михалев, И. О., Исламов, С. Р. Энерготехнологическое производство на основе частичной газификации углей низкой степени метаморфизма [Текст] // И. О. Михалев, С. Р. Исламов: материалы VIII Всероссийской конференции с международным участием «Горение твердого топлива», – 2012. – С. 66–70.

11 Кондратьев, Р. Комплексное повышение энерго-эффективности и экологичности твердотопливной котельной [Текст] // Журнал «Материалы IV Международной научной конференции «Строительство и архитектура: теория и практика инновационного развития» (CATPID-2021 Часть 1). – 2021. № 281. С. 7.

12 Исламов, С. Р. О новой концепции использования угля [Текст] // Уголь. – 2007. – № 5. – С. 67–69.

13 Дягилев, Д. В., Шаврин, В. А., Празян, Т. Л. Безотходное использование углей [Текст] // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Экология и безопасность в техносфере: Современные проблемы и пути решения» – Томск. – 2017. – С.188–191.

REFERENCES

1 Bogdanov, D., Toktarova, A., Breyer, C. Transition towards 100 % renewable power and heat supply for energy intensive economies and severe continental climate conditions: Case for Kazakhstan. [Text] // Applied Energy. – 2019. – Vol. 254. – 113606 p.

2 Smolka-Danielowska, D., Jabłońska, M., Godziek, S. The Influence of Hard Coal Combustion in Individual Household Furnaces on the Atmosphere Quality in Pszczyna (Poland) [Text] // Minerals. – 2021. – Vol. 11. – 1155 p.

3 Dorian, J. Central Asia: A major emerging energy player in the 21st century. [Text] // Energy Policy. – 2006. – Vol. 34. – 544–555 p.

4 **Liu, J., Yang, X., Jiang, X., & Jiang, X.** Pyrolysis mechanisms of coal extracts based on TG-FTIR and ReaxFF MD study [Текст] // Fuel Processing Technology. – 2022. – Vol. 226. – 107124 p.

5 **Linn, J.** Kazakhstan 2050 [Text] // Global Journal of Emerging Market Economies 2050. – 2014. – Vol. 6. – 283–300 p.

6 **Mergalimova, A., Ongar, B., Georgiev, A., Kalieva, K., Abitaeva, R., Bissenbayev, P.** Parameters of heat treatment of coal to obtain combustible volatile substances. [Text] // Energy. – 2021. – № 224. – 148 p.

7 **Ongar, B., Sarsenbaev, E. A., Mergalimova, A. K.** Chisty'e ugol'ny'e texnologii [Clean Coal Technologies] [Text] //, [monograph], Almaty – 2023. – 349 p.

8 **Aliyarov, B. K., Mergalimova, A. K.** Pat. 2450. Sposob bezmazutnoj rastopki kotloagregatov [Method of non-fuel oil firing of boiler units] [Text] // opubl.30.10.2017. – Byul. № 20.

9 **Aliyarov, B., Mergalimova, A., Zhalmagambetova, U.** Application of coal thermal treatment technology for oil-free firing of boilers [Text] // Latvian journal of physics and technical sciences. – 2018. – Vol 2. – 45–54 p.

10 **Mihalev, I. O., Islamov, S. R.** Energotekhnologicheskoe proizvodstvo na osnove chastichnoj gazifikacii uglej nizkoj stepeni metamorfizma [Energy technology production based on partial gasification of low-metamorphic coals] [Text] // I. O. Mihalev, S. R. Islamov: materialy VIII Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnymuchastiem «Gorenie tverdogo topliva». – 2012. – 66–70 p.

11 **Kondratev, R.** Kompleksnoe povы'shenie e'nergoe'ffektivnosti i e'kologichnosti tverdotoplivnoj kotel'noj [Comprehensive improvement of energy efficiency and environmental friendliness of a solid fuel boiler house] [Text] // Journal «Material of IV International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» (CATPID-2021 Part 1). – 2021. – Vol. 281. – 7 p.

12 **Islamov, S. R.** O novoj koncepcii ispol'zovaniya uglya [On the new concept of coal use] [Text] // Ugol' – 2007. – Vol. 5. – 67–69 p.

13 **Dyagilev, D. V., Shavrin, V. A., Prazyan, T. L.** Bezotxodnoe ispol'zovanie uglej [Waste-free use of coal] [Text] // Sbornik trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «E'kologiya i bezopasnost' v texnosfere: Sovremennyy'e problemy i puti resheniya» – Tomsk. – 2017. – 188–191 p.

Поступило в редакцию 02.10.25.

Поступило с исправлениями 07.11.25.

Принято в печать 05.12.25.

Н. К. Сейтжаппаров¹, А. К. Мерғалимова², А. В. Атякшева³,

*С. Б. Ыбрай⁴, Ж. Т. Бекишева⁵

¹Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

^{2,3,4,5}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

02.10.25 ж. баспаға түсті.

07.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

05.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ҚАЗАҚСТАНДЫҚ КӨМІРЛЕРДІҢ ҰТЫМДЫ ПИРОЛИЗ РЕЖИМДЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ АУЫЛДЫҢ ЭЛЕКТР ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ҚОЛДАНУ

Бұл жұмыс жергілікті көмірді ішінара газдандыру (төмен температуралық пиролиз) негізінде шалғай ауылдарды электрмен жабдықтаудың автономды автономды жүйесін құруға арналған. Қазақстан кен орындарының көмірлерін термиялық өңдеу режимдері 300–600 °C диапазонында 5–60 °C/мин қыздыру жылдамдығымен және әртүрлі бөлшектердің өлшемдерімен тәжірибе жүзінде зерттелді. Ұшқыш заттардың шығымы мен құрамы, сонымен қатар алынған газдың таза қыздыру мәні (Q_n) анықталды. Ұсақ ұнтақтаумен (~0–3 мм) және ~20–30 °C/мин қыздыру жылдамдығымен 500–600 °C ұтымды диапазоны ұшпа заттардың негізгі үлесін алуды және $Q_n \approx 10\text{--}12$ МДж/м³ ($CO \sim 50\%$ және HCH % үлесімен) газ түзілуін қамтамасыз ететіні көрсетілген. тиісінше 10–15 және 5–10 көлем.%), қазандықтарды майсыз іске қосу және газ поршеньді қондырғыларды беру үшін жарамды. Алынған мәліметтер негізінде ауылдың энергетикалық кешенінің технологиялық схемасы әзірленді: пиролиз газы электр энергиясын өндіруге және тұрмыстық пештерге жіберіледі, қатты қалдық (жартылай кокс) ыстық су қазандығында пайдаланылады; қауіпсіздік контурлары (қабылдағыш, клапандар, бақылау) қарастырылған. Жаңалық нақты қазақстандық көмірлердің ұтымды режимінің сандық параметрлерін белгілеуде және газ бен жартылай коксты біртұтас энергетикалық жүйеге практикалық біріктіруді негіздеуде. Бұл көмірді жеке жағумен салыстырғанда жергілікті шығарындыларды азайтуға және автономды жағдайларда жалпы пайдалану шығындарын азайтуға әкеледі.

Кілтті сөздер: жартылай газдандыру, көмір пиролизі, жартылай кокс, генератор газы, мазутсыз жағу, қабаттық реактор, автономды энергиямен жабдықтау.

N. K. Seitzhapparov¹, A. K. Mergalimova², A. V. Atyaksheva³,

*S. B. Ybray⁴, Zh. T. Bekisheva⁵

¹L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Astana;

^{2,3,4,5}S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Republic of Kazakhstan, Astana.

Received 02.10.25.

Received in revised form 07.11.25.

Accepted for publication 05.12.25.

RATIONAL PYROLYSIS MODES FOR KAZAKHSTANI COALS AND THEIR APPLICATION IN VILLAGE POWER SYSTEMS

This work is devoted to the creation of an integrated autonomous power supply system for remote villages based on partial gasification (low-temperature pyrolysis) of local coals. Heat treatment modes for coals from Kazakhstani deposits were experimentally studied in the 300–600 °C range at heating rates of 5–60 °C/min and various particle sizes. The yield and composition of volatiles, as well as the net heating value of the resulting gas (Q_n), were determined. It is shown that a rational range of 500–600 °C with fine grinding (~0–3 mm) and a heating rate of ~20–30 °C/min ensures the extr action of the main share of volatiles and the formation of gas with $Q_n \approx 10\text{--}12 \text{ MJ/m}^3$ ($\text{CO} \sim 50\text{--}60 \text{ vol.}\%$ with H_2 and CH_4 fractions of 10–15 and 5–10 vol.%, respectively), suitable for oil-free starting of boilers and feeding gas piston units. Based on the obtained data, a process flow diagram for a village energy complex was developed: pyrolysis gas is sent to power generation and household stoves, the solid residue (semi-coke) is used in a hot water boiler; safety contours (receiver, valves, monitoring) are provided. The novelty lies in establishing quantitative parameters for a rational regime for specific Kazakh coals and in justifying the practical integration of gas and semi-coke into a single energy system. This results in a reduction in local emissions compared to individual coal combustion and a reduction in total operating costs under autonomous conditions.

Keywords: partial gasification, coal pyrolysis, semi-coke, generator gas, fuel oil-free firing, layer reactor, autonomous power supply.

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