

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

№ 1 (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/PXLE1275>

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 алкасы – 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>
Омарова А. Р.	<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

<https://doi.org/10.48081/HQXN2784>**М. Г. Жумагулов¹, *А. Ө. Өмірбаева²**^{1,2}Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Астана¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2702-7292>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5008-5135>*e-mail: a.omerbaeva@mail.ru

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ И ИХ ПРИМЕНИМОСТЬ В УСЛОВИЯХ КАЗАХСТАНА. ЧАСТЬ 1

В данной статье анализируются основные аспекты и преимущества технологии газификации угля, а также обобщается международный опыт ее применения в различных странах. Особое внимание уделено одному из наиболее эффективных способов газификации угля, с подробным описанием физических и химических реакций, происходящих внутри газификатора. Также в работе акцентируется внимание на значимости технологии газификации угля для развития энергетической отрасли Казахстана с учетом ее роли в обеспечении энергетической безопасности, устойчивой экономики страны и снижении экологической нагрузки. В качестве решения для эффективного внедрения продуктов газификации предлагается последующее сжигание синтез-газа в комплексной парогазовой установке с полным циклом газификации, что позволит повысить энергетическую эффективность использования органического топлива для производства электроэнергии с 38 % до 60 %. Особую ценность технология представляет для центральных, северных и восточных регионов Казахстана, в которых отсутствует регулярное газоснабжение, но при этом имеются существенные запасы угля.

Этот обзор является ориентиром для дальнейших исследований в области технологии газификации угля с акцентом на ее роль в производстве экологически чистого топлива и сокращении выбросов парниковых газов, а также в контексте перехода к устойчивой энергетике.

Ключевые слова: газификация угля, газификатор, синтез-газ, уголь, паро-газовая установка

Введение

Несмотря на то, что уголь сам является ископаемым горючим сырьем, потенциально он способен выступать в качестве источника другой более удобной к применению и чистой химической продукции – синтез газа, получаемого в ходе газификации. Сжигание продукта газификации вместо самого угля может привести к снижению количества вредных выбросов. Газификация угля – это чистая технология использования угля, в ходе которой твердое органическое топливо превращается в синтез-газ. В условиях нарастающего мирового энергетического дефицита газификация угля приобретает особую актуальность в связи с необходимостью сокращения вредных выбросов при непрерывном росте спроса на энергию. Этот процесс позволяет значительно повысить эффективность использования органического топлива и снизить загрязнение окружающей среды по сравнению с прямым сжиганием угля.

Материалы и методы

Согласно отчету Статистического обзора энергетики World RB (British Petroleum) за 2022 год, уголь остается одним из важнейших видов ископаемого топлива для многих стран, особенно для Китая и Индии [1]. Согласно данным World Energy Outlook CO2 Emissions 2021 [2], выбросы CO2 установили новый рекорд в 36,3 Гт в 2021 году, из которых 15,3 Гт приходится на сжигание угля, что составляет более 40 % от общих мировых выбросов CO2 [3]. Угольные электростанции вырабатывают энергию путем прямого сжигания угля. Обычно эффективность угольной генерации составляет не более 40%, поэтому термическая конверсия угля с прямым сжиганием не является достаточно чистым и эффективным способом использования угля. В настоящее время самой эффективной технологией использования твердого топлива является его газификация с возможностью последующего сжигания при КПД, достигающем 60 %.

В 1999 году Национальная лаборатория энергетических технологий Министерства энергетики США и Совет по технологиям газификации разработали базу данных по 747 текущим проектам и 1741 газогенератору, в том числе 393 коммерческим с тепловой мощностью 104,7 ГВт. Планировалось построить 1370 газификаторов тепловой мощностью 147,4 ГВт (т). Их распределение тепловой производительности по 1950-2025 годам показано на рисунке 1[4].

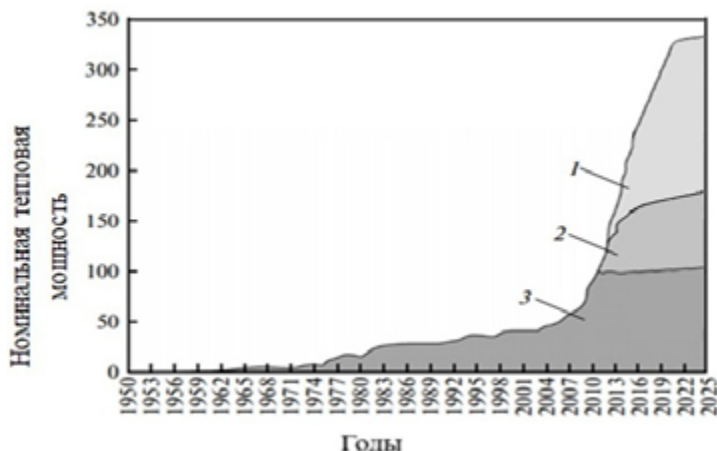


Рисунок1 – Повышение общей термической эффективности газификаторов во всем мире. 1–запланировано; 2 – построено; 3 – эксплуатируется в текущем периоде.

В таблице 1 показаны крупнейшие газификационные предприятия в мире. Как видно из таблицы перечень продуктов газификации широко выходит за рамки только производства синтез газа. Например, в мире 25 % общего объема производства аммиака и 35 % метанола приходится на газификацию. Наивысшие темпы развития углехимической отрасли сегодня демонстрирует Китай.

Таблица 1 – Крупные газификационные предприятия [4].

Наименование предприятия	Страна	Технология	Количество газификаторов	Тепловая мощность, МВт	Год ввода в эксплуатацию	Сырье	Продукты
Pearl GTL	Катар	Shell	18+0	10936	2011	ПГ	ЖТ
Yinchuan GTL	Китай	Siemens	22+2	9300	2016	Уголь	ЖТ
Datang Ningxia SNG	Китай	SEDIN	45+3	7125	2015	Лигнит	СГ
Sasol Synfuels West	ЮАР	L u r g i FBOB	40+0	7048	1977	Уголь	ЖТ
Sasol Synfuels East	ЮАР	L u r g i FBOB	40+0	7048	1982	Уголь	ЖТ
CHNG Xinjiang SNG	Китай	TPRI	7+1	6450	2014	Уголь	СГ
Jamnagar Gasification	Индия	E-Gas	6+2	5000	2015	НК	ЭЭ

Jazan IGCC	Сауд. Арабия	Shell	16+0	4465	2016	НК	ЭЭ
Yankunag Yulin GTL	Китай	OMB	8+0	3733	2015	Уголь	СО
Yulin Methanol Plant	Китай	General Electric	10+4	3383	2015	Уголь	Метанол
Luner Mongolia Chemical Plant	Китай	Shell	3+0	3373	2011	Лигнит	Метанол
Shenhua Ningxia	Китай	Siemens	5+0	1912	2011	Уголь	Метанол
Great Plains Synfuels Plant	США	Lurgi FBOB	12+2	1900	1984	Лигнит	СТГ
Shenhua Baotou	Китай	General Electric	5+2	1750	2011	Уголь	Метанол
Hexigten SNG	Китай	SEDIN	12+2	1670	2012	Уголь	СТ
Sarlux IGCC	Италия	General Electric	3+0	1271	2000	ОМ	ЭЭ
ISAB Energy IGCC	Италия	General Electric	2+0	1203	1999	ОМ	ЭЭ
Sanwei Neimenggu	Китай	General Electric	4+2	1167	2011	Уголь	Метанол
Edwardsport IGCC	США	General Electric	2+0	1150	2012	Уголь	ЭЭ

ПГ-природный газ; СТ-синтез газ; НК-нефтяной кокс; ОМ- остатки масла; ЖТ-жидкое топливо; ЭЭ-электрическая энергия.

Сегодня развитие газификации угля в мире находятся на высоком уровне.

Китай является мировым лидером в газификации угля. В этой стране активно развиваются проекты, направленные на использование синтез-газа из угля для производства химической продукции (например, аммиака, метанола) и синтетического топлива. Программа газификации угля в Китае направлена на повышение энергетической безопасности и снижение зависимости от импорта нефти и газа. Ожидается, что в будущем китайская технология газификации будет способствовать более устойчивому использованию угля в энергетической и химической промышленности [5].

В Соединенных Штатах (США) газификация угля в основном используется в технологических исследованиях и некоторых проектах промышленной направленности. В частности, газификация угля рассматривается как важный элемент систем улавливания и хранения углерода (CCS). Примеры таких проектов включают газификацию угля в сочетании с производством энергии с минимизированными выбросами углекислого газа. Однако, по сравнению с более дешевыми альтернативами, такими как природный газ, газификация угля не пользуется широкой популярностью в США. Тем не менее, проекты, ориентированные на газификацию угля для сокращения выбросов углекислого газа, такие как Парогазовая установка с

внутренним циклом газификации (IGCC), такие проекты могут стать важной частью чистой экологической энергетики в будущем [6].

В Индии газификация угля используется как способ повышения энергетической безопасности, особенно в отдаленных районах с ограниченным доступом к природному газу. Индийские исследования по газификации угля направлены на повышение эффективности существующих технологий, а также на использование угольного синтез-газа для производства электроэнергии с использованием химических продуктов. В некоторых проектах используется сочетание газификации угля с возобновляемыми источниками энергии, включая солнечную, для повышения устойчивости энергосистемы [7].

ЮАР активно использует технологии газификации угля в промышленности, в том числе для производства синтетического топлива. Компания «Sasol» является лидером в производстве синтетических жидких углеводородов посредством процесса газификации угля. Это позволяет создать альтернативные виды топлива и снизить зависимость страны от традиционных, таких как нефть и газ [8].

Внутри газификатора угля происходит аллотермический процесс, поскольку для реакции необходим внешний источник теплоты с температурой 800-1300 °С. Этот процесс необходим для эндотермических реакций, требующих тепла для разложения угля на окись углерода, водород и другие компоненты.

В таблице 2 представлено большинство существующих и наиболее изученных технологий газификации. По каждой технологии анализируются особенности и требования к осуществлению процесса.

Таблица 2 – Сравнительный анализ

Метод газификации угля	Описание метода	Газификаторы	Температура	Недостатки
Парокислородная газификация	Использует пар и кислород для газификации	Shell [9] , Texaco [10], Lurgi	900–1400	Высокая стоимость кислорода
Воздушная газификация	Использует воздух вместо кислорода	Lurgi, Koppers-Totzek [11]	800–1200	Низкая теплота сгорания газа из-за азота
Плазменная газификация	Использует плазменную дугу	Прототипы, исследовательские установки	1500–5000	Высокие энергозатраты

П о д з е м н а я газификация	Газификация угля непосредственно в пласте	Советские и современ- ные проекты	800–1200	Контроль процесса сложен
П а р о в а я газификация	Использует только водяной пар	Winkler [12], Lurgi [13]	900–1200	Тре- б у е т дополнитель- ной энергии для нагрева

По результатам анализа сведений в таблице 2 авторы статьи считают, что наиболее подходящая технология для условий Казахстана – это паровая газификация, т.к.

1 в качестве теплоносителя и реагента используется сравнительно доступный водяной пар;

2 данная технология по мнению большинства исследований наиболее подходящая для энергетических целей [14, 15];

3 одним из вариантов реализации данной технологии является газификатор Lurgi, который на сегодня наиболее изучен, надежен и доступен по цене и эксплуатационным расходам.

Среди всех существующих технологий газификации угля наиболее распространенным является процесс газификации угля в плотном слое под давлением. Начиная с 20 века, этот метод широко применяется многими предприятиями России и другими зарубежными странами. Среди различных вариантов газификации угля в плотном слое наиболее эффективной и надежной является схема газификации под давлением, называемая процессом Lurgi (рис. 2). Этот процесс зарекомендовал себя как одна из наиболее стабильных и передовых технологий получения синтез-газа с минимальными энергетическими затратами [16].



Рисунок 2 – Реакционные зоны в газификаторе

Внутри газификатора протекают физико-химические процессы, которые можно разделить на отдельные реакционные зоны [17]:

- Окислительная зона – зона частичного горения угля с тепловыделением (Q_1 , Q_2);

- Восстановительная зона – зона восстановительных реакций с образованием горючих газовых компонентов (CO , H_2). Данная эндотермическая стадия протекает с поглощением тепловой энергии;

- Зона выхода летучих – зона термического разложения угля с выходом горючих компонентов (CH_4 , H_2 , CO);

- Зона вывода итогового синтез газа.

Основные химические реакции представлены на самом рисунке 2.

При взаимодействии CO и H_2 в восстановительной зоне может образовываться метан, который способен термически распадаться в последствии на молекулярный водород и углерод в виде сажи.

Результаты и обсуждение

Несмотря на развитие возобновляемой энергетики и реализацию политики «энергетического» перехода, уголь продолжает сохранять лидирующие позиции в мировой энергетике развитых стран. Энергетический кризис и проблемы с поставками природного газа в 2022 году показали, что уголь остается фактором, стабилизирующим энергетические рынки [18].

В настоящее время уголь широко используется в энергетических целях в северных, центральных и восточных областях Казахстана. Это не только оправдано отсутствием эффективных газовых энергоносителей, таких как природный газ, но также наличием угольных месторождений с существенными запасами. В балансе страны 49 месторождений угля. Доказанные запасы составляют 29,3 млрд тонн. Казахстан занимает десятое место в мире по запасам угля, которых с нынешними темпами добычи ориентировочно хватит на срок более 250 лет. Крупные угольные бассейны – Экибастузский (10,1 млрд т), Карагандинский (7,0 млрд т) и Торгайский (5,9 млрд т) – расположены в Центральной и северной частях Казахстана [18]. Суммарные доказанные, прогнозируемые и потенциальные запасы угля составляют около 150 миллиардов тонн. Согласно официальной статистике, в 2022 году добыто 113,9 млн тонн угля (без учета угольного концентрата), что составляет 102 % по сравнению с 2021 годом (2020 год – 107,2 млн тонн, 2021 год – 111,7 млн тонн). В настоящее время 66,7% электроэнергии Казахстана обеспечивается угольной отраслью [19].

В последние годы в связи с устойчивым ростом цен на нефть, снижением запасов во многих странах ведется разведка новых угольных месторождений и процессы совершенствования и улучшения методов глубокой переработки угля. Для Казахстана интересен опыт стран, занимающих лидирующие позиции по добыче угля (Китай, США, Индия), которые, например, за счет государственных мероприятий разработали технологии глубокой переработки угля. Поэтому необходимо совершенствовать национальное законодательство, касающееся оказания государственной поддержки таким технологиям [19]. Переработка исходного топлива более предпочтительна в экономическом аспекте, так как добавленная стоимость продуктов переработки выше чем стоимость энергии (на продажу) при прямом сжигании.

Парижское климатическое соглашение послужило основой для разработки экстерриториальных схем и механизмов сокращения выбросов. Например, 16 мая 2023 года в ЕС вступил в силу трансграничный механизм управления углеродсодержащими выбросами. Согласно механизму, с 2026 года импорт отдельных видов продукции в ЕС будет облагаться пошлиной в соответствии с величиной, превышающей установленную норму выбросов парниковых газов при их производстве [18]. Основной проблемой в угольной промышленности является переход мировых тенденций к «зеленой экономике», что оказывает свое влияние на объемы потребления угля.

В соответствии с главой 3 (задача 3) «Стратегия устойчивой энергетики будущего Казахстана до 2050 года» необходимо внедрять чистые угольные технологии устойчивой энергетически, т. е. совершенствовать процессы газификации угля [20]. Такие технологии эффективны и оказывают меньшее

воздействие на окружающую среду по сравнению с прямым сжиганием угля. Этот технологический кластер предотвращает установку менее эффективных установок на основе угля и расширяет возможности преобразования угля в более полезный конечный продукт, тем самым способствуя постепенному отказу от его прямого использования.

Газификация угля является средством достижения вышеуказанных целей для чистых угольных технологий. Процесс газификации угля-это хорошо зарекомендовавшая себя технология, которая превращает твердое сырье (например, уголь, биомасса и пр.) в синтетический газ (синтез-газ) с использованием пара и окислителя. Чистый синтез-газ можно использовать непосредственно в качестве источника городского газоснабжения или в качестве топлива для производства теплоты и электроэнергии.

Выводы

Стратегическим направлением развития мировой энергетики является внедрение парогазовых установок (ПГУ) при производстве электроэнергии и тепла. Данный подход позволяет значительно повысить коэффициент полезного действия (КПД) использования органического топлива для производства электроэнергии с 38 % до 60 %. ПГУ особенно актуальны для объектов энергетики, поскольку обеспечивают высокую экономическую эффективность, а также значительно снижают экологическую нагрузку по сравнению с традиционными паротурбинными установками [21].

Например, КПД паротурбинных (ПТ) или газовых турбин (ГТ) установок на угольных, мазутных и газовых электростанциях (включая ТЭЦ) не превышает 0,4, в то время как использование комбинированной парогазовой установки позволяет достичь КПД в пределах 0,58–0,62 [21].

На сегодняшний день в Казахстане парогазовые установки (ПГУ) активно эксплуатируются в западном регионе страны (Актюбинский завод ферросплавов). Планируется широкомасштабное внедрение технологии ПГУ в южных регионах страны на ТЭЦ г. Кызылорда и Шымкент. Однако в Центральном и Северном Казахстане эффективное внедрение ПГУ сталкивается с рядом трудностей, прежде всего из-за ограниченного доступа к природному газу. В этих областях газоснабжение осуществляется только в рамках начатых проектов, таких как магистральные газопроводы «Сарыарқа» и «Бейнеу-Бозой-Шымкент», что ограничивает возможности для широкомасштабного использования ПГУ.

Вместе с тем, для решения этой проблемы возможно применение синтетического газа, полученного из угля в процессе газификации. Использование такого газа в ПГУ позволит создать эффективные и экологически чистые энергетические установки, доступные в любом регионе Казахстана, имеющего запасы угля. Синтез газ может существенно снизить

зависимость от природного газа, обеспечивая стабильное энергоснабжение и одновременно способствуя улучшению экологической ситуации в стране за счет снижения выбросов вредных веществ. Таким образом, интеграция угольной газификации в парогазовую технологию представляет собой перспективное направление для устойчивого развития энергетической отрасли Казахстана.

В угольных газификаторах преобладают эндотермические реакции, которые требуют значительных затрат энергии для поддержания желаемой температуры. Среди таких реакций-процессы взаимодействия угля с паром и углекислым газом, в результате которых образуется синтез-газ (окись углерода, водород). Для обеспечения оптимальных температурных условий газификатор частично использует теплоту от сгорания угля, что покрывает расход энергии за счет его частичного сжигания. Однако на современном этапе развития технологии уголь можно объединять с альтернативными источниками теплоты, такими как солнечная энергия, для обеспечения дополнительного нагрева в процессе газификации. Учитывая его экологически чистый характер, солнечная энергия может повысить энергоэффективность газификационных установок при одновременном снижении потребности в традиционных источниках энергии. Применение солнца для частичного нагрева реактора газификации приведет к снижению расхода органического топлива на собственные нужды, а значит объёмы вредных выбросов снизятся.

Будущие планы исследования

Вопрос использования солнечного тепла для угольной газификации будет более подробно рассмотрен во второй части данной работы в одном из будущих изданий научного журнала «Вестник ТоУ».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 BP Statistical Review of World Energy. 2022, 71st edition. Available online: <https://www.bp.com/statisticalreview> (accessed on 10 May 2023).

2 Sixth Assessment Report -IPCC: Technical Summary. 2021. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/technical-summary/> (accessed on 10 May 2023)

3 Fei, D., Shengping, Z., Yuanpei, L., Ke, W., Yanrong, L., Xiaoyan, J. Recent Progress on Hydrogen-Rich Syngas Production from Coal Gasification. Processes 2023.

4 Ol'khovskii, G. G. Solid Fuel Gasification in the Global Energy Sector (a Review)// Thermal Engineering, 2015, Vol. 62, No. 7, P. 465–472. © Pleiades

Publishing, Inc., 2015. Original Russian Text © G.G. Ol'khovskii, 2015, published in Teploenergetika

5 **Zhang, X., Liu, J., Zeng, M.** Coal Gasification and Its Industrial Applications // *Energy & Fuels* ,2021.

6 Energy Information Administration (EIA). *Coal Gasification Technologies in the United States*. 2020.

7 **Sharma, S., Kumar, A., Patel, D.** Coal Gasification Technologies in India. *Energy Reports* 2019.

8 **Meyer, C., Hofmann, G.** Integrated Coal Gasification: A Clean Alternative // *International Journal of Energy Research* 2021.

9 **He, X.-Y., Wen, Z.-N., Zhai, C., Zhu, Y.-Z., Nie, Y.-X., Mei, Y.** Fluid flow characteristics and coal gasification performance under various injection patterns in a Shell gasifier. *Chemical Engineering Science*. Available online 3 March 2025.

10 **Miao, Z., Guo, F., Zhao, X., Guo, Z., Guo, Y., Zhang, Y., Wu, J.** Effects of acid treatment on physicochemical properties and gasification reactivity of fine slag from Texaco gasifier. *Chemical Engineering Research and Design*. May 2021, –1-8 p.

11 **Rosen, M. A., Scott, D. S.** An energy-exergy analysis of the Koppers-Totzek process for producing hydrogen from coal. *International Journal of Hydrogen Energy*. 1987, – 837–845 p.

12 **Heinze C., May J., Langner E., Ströhle J., Epple B.** High Temperature Winkler gasification of Rhenish lignite in an optimized 500 kWth pilot plant. *Fuel*. February 2023.

13 **He, C., Xiao, F., Chu, K. H.** Process modeling and thermodynamic analysis of Lurgi fixed-bed coal gasifier in an SNG plant. *Applied Energy*. November 2013, –742–757 p.

14 *Oil and Gas J.*, 1993, April 12. –85 p.

15 Extended Abstracts and Programme of Symp. «Science and Technology of Carbon», Strasbourg, France, July 1998. – V. II. – 894 p.

16 **Загрудтинов, Р.Ш.** Исследование технологического режима газогенераторов Лурги при паракислородной газификации углей под давлением // Автореф. диссерт. на соиск. уч. ст. канд. тех. наук. Барнаул, 2010. – 6–7 с.

17 **Загрудтинов, Р.Ш., Нагорнов, А.Н., Сеначин, П.К.** Наладочные испытания газогенераторов Лурги и перспективы газогенераторных технологий // *Ползуновский Вестник* № 3 2007. – 40с.

18 Национальный энергетический доклад KAZENERGY 2023 <https://www.kazenergy.com/ru>

19 Проект Концепции цифровизации энергетической системы Казахстана https://www.kazenergy.com/upload/document/electric/razvitie_konc_2.pdf

20 **Абыкаев, Н.А., Бектурганов, Н.С., Зейнуллин, А.А., Кузнецов, О.Л., Спицын, А.Т., Шеулин, А.С.** Проект «Стратегии устойчивой энергетики будущего Казахстана до 2050 года».

21 **Достияров, А.М., Омербаева, А.О.** К вопросу газификации углей месторождений Казахстана. Фундаментальные и прикладные науки сегодня // Материалы VII международной научно-практической конференции. North Charleston, USA, 2015. – 117 с.

REFERENCES

1 BP Statistical Review of World Energy. 2022, 71st edition. Available online: <https://www.bp.com/statisticalreview> (accessed on 10 May 2023).

2 Sixth Assessment Report -IPCC: Technical Summary. 2021. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/technical-summary/> (accessed on 10 May 2023).

3 **Fei, D., Shengping, Zh., Yuanpei, L., Ke, W., Yanrong, L., Xiaoyan, J.** Recent Progress on Hydrogen-Rich Syngas Production from Coal Gasification. Processes 2023.

4 **Ol'khovskii, G. G.** Solid Fuel Gasification in the Global Energy Sector (a Review) // Thermal Engineering, 2015, Vol. 62, No. 7, pp. 465–472. © Pleiades Publishing, Inc., 2015. Original Russian Text © G.G. Ol'khovskii, 2015, published in Teploenergetika.

5 **Zhang, X., Liu, J., Zeng, M.** Coal Gasification and Its Industrial Applications // *Energy & Fuels*, 2021.

6 Energy Information Administration (EIA). *Coal Gasification Technologies in the United States*, 2020.

7 **Sharma, S., Kumar, A., Patel, D.** Coal Gasification Technologies in India // *Energy Reports* 2019.

8 **Meyer, C., Hofmann, G.** Integrated Coal Gasification: A Clean Alternative // *International Journal of Energy Research*, 2021.

9 **He, X.-Y., Wen, Z. N., Zhai, C., Zhu, Y. Z., Nie, Y. X., Mei, Y.** Fluid flow characteristics and coal gasification performance under various injection patterns in a Shell gasifier. Chemical Engineering Science. Available online 3 March 2025.

10 **Miao, Z., Guo, F., Zhao, X., Guo, Z., Guo, Y., Zhang, Y., Wu, J.** Effects of acid treatment on physicochemical properties and gasification reactivity of fine slag from Texaco gasifier. Chemical Engineering Research and Design. May 2021, –1–8 p.

11 **Rosen, M. A., Scott, D. S.** An energy-exergy analysis of the Koppers-Totzek process for producing hydrogen from coal. International Journal of Hydrogen Energy. 1987, –837–845 p.

12 **Heinze C., May J., Langner E., Ströhle J., Epple B.** High Temperature Winkler gasification of Rhenish lignite in an optimized 500 kWth pilot plant. Fuel. February 2023.

13 **He, C., Xiao, F., Chu, K. H.** Process modeling and thermodynamic analysis of Lurgi fixed-bed coal gasifier in an SNG plant. Applied Energy. November 2013, –742–757 p.

14 **Oil and Gas J.**, 1993, April 12. –85 p.

15 Extended Abstracts and Programme of Symp. «Science and Technology of Carbon», Strasbourg, France, July 1998. – V. II. – 894 p.

16 **Zagrutdinov, R.Sh.** Issledovanie tekhnologicheskogo rezhima gazogeneratorov Lurgi pri parakislородной газификации угля под давлением. Avtoref. dissert. na soisk. uch. st. kand. tekhn. nauk. Barnaul., 2010. – 6–7 p. [Study of the Technological Regime of Lurgi Gas Generators in the Oxygen-Pressure Coal Gasification Process].

17 **Zagrutdinov, R. Sh., Nagornov, A. N., Senachin, P. K.** Naladochnye ispytaniya gazogeneratorov Lurgi i perspektivy gazogeneratornykh tekhnologiy. Polzunovskiy Vestnik № 3 2007. – 40p. [Load Testing of Lurgi Gas Generators and Prospects of Gas Generator Technologies].

18 Natsional'nyy energeticheskiy doklad. KAZENERGY 2023 <https://www.kazenergy.com/ru> [National Energy Report. KAZENERGY 2023].

19 Proyeckt Kontseptsii tsifrovizatsii energeticheskoy sistemy Kazakhstana. https://www.kazenergy.com/upload/document/electric/razvitiye_konc_2.pdf [Project of the Concept of Digitalization of Kazakhstan's Energy System].

20 **Abykaev, N. A., Bekturganov, N. S., Zeynullin, A. A., Kuznetsov, O. L., Spitsin, A. T., Sheulin, A. S.** Proyeckt «Strategii ustoychivoy energetiki budushchego Kazakhstana do 2050 goda» [Project «Strategy for Sustainable Energy of Kazakhstan until 2050»].

21 **Dostiyarov, A. M., Omirbayeva, A. O.** K voprosu gazifikatsii ugley mestorozhdeniy Kazakhstana. Fundamental'nye i prikladnye nauki segodnya. Materialy VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. North Charleston, USA, 2015. – 117 p. [On the Issue of Coal Gasification in the Deposits of Kazakhstan. Fundamental and Applied Sciences Today. Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference].

Поступило в редакцию 29.01.25

Поступило с исправлениями 07.02.25

Принято в печать 03.03.25

М. Г. Жұмагулов¹, *А. Ө. Өмірбаева²

^{1,2}Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

29.01.25 ж. баспаға түсті.

07.02.25 ж. түзетулерімен түсті.

03.03.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

КӨМІРДІ ГАЗИФИКАЦИЯЛАУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫНА ШОЛУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚАЗАҚСТАН ЖАҒДАЙЫНДА ҚОЛДАНЫЛУЫ. 1 БӨЛІМ

Бұл мақалада көмірді газификациялау технологиясының негізгі аспектілері мен артықшылықтары талданады, сонымен қатар оны әр түрлі елдерде қолданудың халықаралық тәжірибесі жинақталады. Көмірді газификациялаудың ең тиімді әдістерінің біріне ерекше назар аударылады, газификатор ішінде болатын физикалық және химиялық реакциялар толық сипатталады. Сондай-ақ, жұмыста энергетикалық қауіпсіздікті, елдің тұрақты экономикасын қамтамасыз етудегі және экологиялық жүктемені төмендетудегі рөлін ескере отырып, Қазақстанның энергетика саласын дамыту үшін көмірді газификациялау технологиясының маңыздылығына назар аударылады.

Бұл шолу көмірді газификациялау технологиясы саласындағы оның таза отын өндірудегі және парниктік газдар шығарындыларын азайтудағы рөліне, сондай-ақ тұрақты энергетикаға көшу контекстінде баса назар аудара отырып, одан әрі зерттеулерге бағыт береді. Газификация өнімдерін тиімді енгізудің шешімі ретінде толық газификациялау циклі бар кешенді бу газ қондырғысында синтез-газды жағу ұсынылады, бұл электр энергиясын өндіру үшін органикалық отынды пайдаланудың энергетикалық тиімділігін 38%-дан 60%-ға дейін арттыруға мүмкіндік береді. Қазақстанның орталық, солтүстік және шығыс өңірлері тұрақты газбен жабдықталмағандықтан, бірақ көмірдің елеулі қорларлы болғандықтан бұл құнды технология болып табылады.

Кілтті сөздер: көмір газификацияс, газификатор, синтез-газ, көмір, бу газды қондырғы.

M.G. Zhumagulov¹, *A. O. Omirbayeva²

^{1,2}Eurasian national university named after L. N. Gumilyov,

Republic of Kazakhstan, Astana

Received 29.01.25

Received in revised form 07.02.25

Accepted for publication 03.03.25

REVIEW OF COAL GASIFICATION TECHNOLOGIES AND THEIR APPLICABILITY IN KAZAKHSTAN. PART 1

This article analyzes the main aspects and advantages of coal gasification technology, as well as summarizes the international experience of its application in various countries. Special attention is paid to one of the most effective methods of coal gasification, with a detailed description of the physical and chemical reactions occurring inside the gasifier. The document also focuses on the importance of coal gasification technology for the development of Kazakhstan's energy sector, taking into account its role in ensuring energy security, a sustainable economy and reducing environmental load. As a solution for the effective implementation of gasification products, the subsequent combustion of synthesis gas in a complex combined-cycle gas plant with a full gasification cycle is proposed, which will increase the energy efficiency of using organic fuels for electricity generation from 38% to 60%. The technology is of particular value for the central, northern and eastern regions of Kazakhstan, which do not have regular gas supply, but have significant coal reserves.

This review provides guidance for further research on coal gasification technology, with a focus on its role in producing environmentally friendly fuels and reducing greenhouse gas emissions, as well as in the context of the transition to sustainable energy.

Keywords: coal gasification, gasifier, synthesis gas, coal, combined cycle gas plant.

Теруге 10.03.2025 ж. жіберілді. Басуға 28.03.2025 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 №4358

Сдано в набор 10.03.2025 г. Подписано в печать 28.03.2025 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 № 4358

«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