

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 (2024)

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/ZSHT7059>

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., доцен;</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

© Торайгыров университет

МРНТИ 44.31.29

<https://doi.org/10.48081/TYPE3462>

**А. К. Мергалимова¹, А. В. Атякшева¹,
*М. Б. Айтмагамбетова¹, Н. К. Сейтжаппаров²,
А. Н. Жолдыбаева²**

¹КазАТИУ имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

²ЕНУ имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана

*e-mail: aiti.mb@yandex.kz

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ЧИСТОЙ УГОЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ГАЗОВ И ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО СЖИЖЕНИЯ

Исследования проведенные на низкометаморфозных казахстанских углях, таких как месторождения «Восточный плат – 2» и «Богенбай – Жила», позволили определить оптимальные температурные диапазоны выделения различных газов, таких как циклогексан, метан и водород. Эти газы являются наиболее эффективными фрагментами для последующего сжижения. Особенно стоит отметить, что фюзинитовые и низкометаморфозные угли обладают высоким выходом углеводородных и водородных компонентов, что делает их привлекательными для технологии прямого сжигания с последующим сжижением. Кроме того, эти исследования могут привести к разработке более эффективных и экологически чистых технологий использования природных ресурсов. Учитывая ограниченность традиционных источников энергии и растущий спрос на альтернативные источники, такие как уголь, основанные на этих данных технологии могут сыграть ключевую роль в обеспечении энергетической безопасности и устойчивого развития. Использование газовых фрагментов для сжижения может способствовать сокращению выбросов парниковых газов и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду. Эти

результаты исследований имеют важное значение для дальнейших разработок и конструирования устройств по термическому нагреву коксовых углей с низкой степенью метаморфизма, с целью выделения летучих горючих газов и их последующего сжигания.

Ключевые слова: сжигание, летучие топливные газы, термический нагрев, термическая деструкция, углеводородный фрагмент, метаморфизм.

Введение

Сегодня Казахстан входит в первую десятку стран мира по запасам угля, которые достигают более 29,4 млрд. тонн. В то же время два процента из трех добываемых углей имеют низкое качество [1]. Прямое сжигание таких углей влечет за собой применение энергозатратных технологий с достаточной экологической нагрузкой [2, с.189].

В то же время, государственные задачи в соответствии с документами «Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года», Законом Республики Казахстан «О ратификации Парижского соглашения» и Национальным проектом «Зеленый Казахстан» это создание технологий сжигания с низким уровнем выбросов и повышение энергоэффективности энергогенерирующего оборудования. При такой ситуации использования низкокачественных углей в рамках развития чистой угольной технологии на основе термического нагрева с возможностью последующего сжигания полученных топливных газов является перспективным.

Материалы и методы

Углеводороды играют значительную роль не только в энергетической системе, но и в других секторах экономики. Они могут служить газообразным и жидким топливом для установок генерации теплоты и энергии, обеспечивать химические технологии, медицинские при получении фармацевтических препаратов и пищевой промышленности для производства добавок и консервантов [3, с. 5225]. Углеводороды, получаемые из нефти, требуют дополнительной сепарации, так как существуют в виде углеводородных смесей, не всегда пригодных для прямого использования. Вопрос термической обработки казахстанских углей на сегодняшний день исследуются достаточно широко [4, с.118].

Процесс термической обработки казахстанских углей представляет собой сложный технологический процесс, направленный на получение летучих компонентов из угольного сырья. В этом процессе используется термическое разложение органических веществ, содержащихся в угле, при высоких температурах без доступа кислорода.

Сначала угольное сырье загружается в специальную камеру или реактор, где подвергается нагреванию до определенной температуры. Под воздействием высоких температур происходит разложение органических соединений, содержащихся в угольном сырье.

В результате термической обработки происходит выделение летучих компонентов, таких как циклогексан, метан, водород и другие углеводороды. Эти компоненты выходят из угольного сырья в виде газов и могут быть собраны для последующего использования.

Процесс термической обработки казахстанских углей имеет значительное значение для промышленности, так как позволяет эффективно использовать низкометаморфозные угли и получать ценные газовые компоненты. Кроме того, этот процесс может быть важным этапом в разработке чистых технологий сжигания угля с минимальным воздействием на окружающую среду.

При этом, исследования направлены не только на повышение эффективности углей, но и на возможность более широкого спектра применения, а именно для замены высококалорийного топлива на получаемые топливные газы, включающие углеводородные компоненты [5, с.189].

Более того, показано, что разные угли дают различный эффект и как представлено в [6, с.59], Казахстан является одним из крупнейших обладателей угля в мире и уголь в настоящее время составляет более 50 % выработки тепловой и электрической энергии в Казахстане. Все вышеуказанное показывает на необходимость проведения исследований по возможности определения качественных и количественных показателей и характеристик казахстанских низкокачественных углей с целью повышения экологических и экономических показателей его использования.

Предлагаемая технология предполагает получение целевых углеводородов путем их выделения при термическом нагреве угля, в результате деструкции его структуры [7, с.4]. Результаты настоящего

исследования представляют компонентный состав углеводородных фрагментов, полученных при экспериментально-лабораторных исследованиях.

Исследования проводились на установке термического нагрева (рисунок 1), специально разработанной для этой цели. Установка позволяла контролировать температуру внутри реакционной камеры в диапазоне до 800 °С и поддерживать среду без доступа воздуха, что обеспечивало условия для термического разложения углеродных материалов без их окисления.

Процесс исследования включал в себя анализ компонентного состава углеводородных фрагментов, полученных в результате деструкции структуры угля при различных температурах. Особое внимание уделялось фрагментам углеводородов с числом углеродных атомов от C_1 до C_6 , а также выделению водорода в процессе термического нагрева.

Для исследований использовались образцы угля с низкой степенью метаморфизма: коксовый низкометаморфозный уголь месторождения «Восточный пласт – 2» с содержанием влажности в воздушно-сухом состоянии ($V^{daf}=26,1\%$), а также коксовый фюзинитовый уголь месторождения «Богенбай – Жила» с $V^{daf}=18,6\%$. Эти образцы были выбраны для того, чтобы изучить влияние содержания влаги и других факторов на процесс выделения углеводородов при термическом нагреве.

Постоянный мониторинг процесса позволил получить данные о динамике образования углеводородных фрагментов и водорода в зависимости от изменения температуры. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации процесса получения целевых углеводородов из угля с целью повышения его эффективности и экономической выгоды.

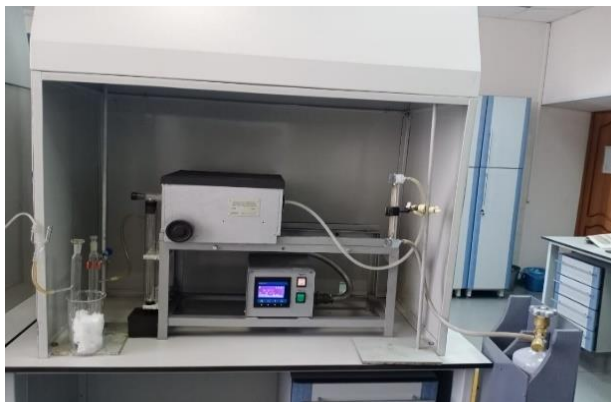


Рисунок 1 – Внешний вид установки термического нагрева углей

Образцы угля предварительно высушивались до постоянной массы при температуре 110°C и измельчались до степени не более 200 мк. Выход углеводородных продуктов и водорода регистрировался с помощью масс-спектрометра газов SRS QMS 300. Данные по выходу углеводородных компонентов собирались непрерывно с откликом анализатора 0,5 секунды.

Дополнительно, перед проведением эксперимента был проведен анализ фоновго состава воздуха с целью выявления и учета примесей, которые могли бы повлиять на результаты исследования. Это важно для обеспечения чистоты эксперимента и достоверности получаемых данных. Исследования проводились в диапазоне температур от 0°C до 650°C при скорости подъема температуры $30^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, что соответствует стандартным условиям, установленным в соответствии с ISO 12963:2017 Анализ газа. Методы сравнения для определения состава газовых смесей на основе одноточечной и двухточечной калибровки [8].

Результаты и обсуждение

Анализ газа включал в себя измерение содержания различных газовых компонентов, таких как кислород (O_2), азот (N_2), углекислый газ (CO_2), а также возможных примесей, таких как оксиды азота (NO_x), сернистый ангидрид (SO_2) и другие [9, с. 15]. Для этого могли использоваться различные методы анализа, включая газовую хроматографию (GC) и спектральный анализ. Полученные данные об атмосферном составе воздуха до начала эксперимента позволяют исключить возможное влияние примесей на результаты исследования и обеспечить точность и

достоверность получаемых данных о выделении углеводов и других продуктов в процессе термической деструкции угля.

Результаты исследований по выходу углеводородных компонентов представлены в таблице 1 и на рисунке 2 и 3.

Таблица 1 - Выход углеводородных компонентов

Состав, %	Коксовый фюзинитовый уголь месторождения «Богенбай - Жила»				Коксовый низкометаморфозный уголь месторождения «Восточный пласт – 2»			
	Температура, °C				Температура, °C			
	150	300	450	610	150	300	450	610
CH ₄	-	-	61,18	41,2	-	-	64,5	42,30
C ₆ H ₁₂	-	-	5,2	0,70	-	-	3,5	1,05
H ₂	-	-	3,44	20,2	-	-	5,71	21,90

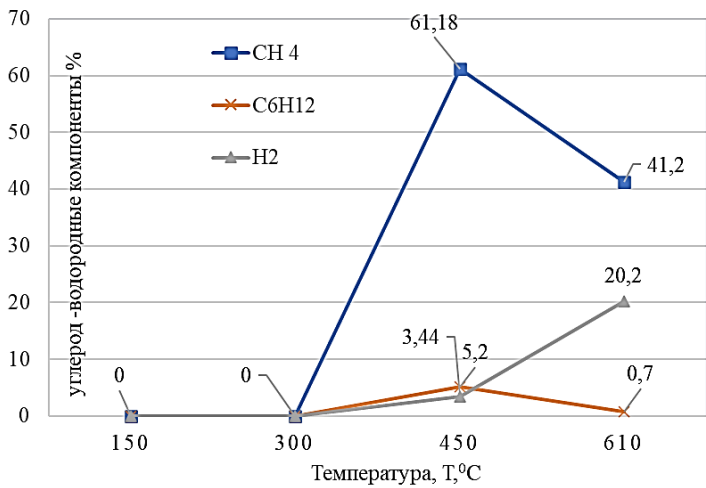


Рисунок 2 – Фрагментарный выход продуктов термической деструкции коксового фюзинитового угля месторождения «Богенбай - Жила»

Для визуализации данных на рисунке 2 представим зависимость процентного содержания каждого компонента от температуры. Для метана (CH₄) наблюдается сперва резкое увеличение, а затем при достижении 450

°С снижение процентного содержания с увеличением температуры. Это может объясняться его дальнейшей деструкцией и образованием более сложных углеводородов при более высоких температурах. Для компонента C_6H_{12} (гексена) также наблюдается снижение процентного содержания с увеличением температуры, хотя его начальное содержание и невелико. Это может указывать на его дальнейшее разложение или превращение в другие продукты при повышенных температурах. Процентное содержание водорода (H_2) существенно увеличивается при повышении температуры от 450 °С. Это может быть связано с процессом разложения углеродных материалов и образованием более легких газов, включая водород.

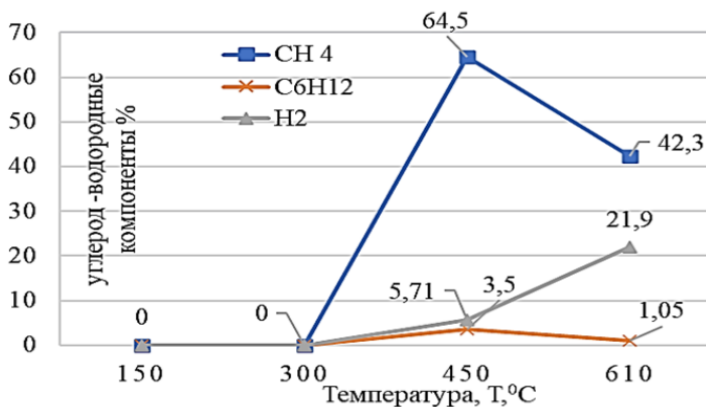


Рисунок 3 – Фрагментарный выход продуктов термической деструкции коксового низкометаморфозного угля месторождения

«Восточный пласт – 2»

При анализе рисунка 3 можно увидеть следующие изменения в содержании компонентов в процессе термической деструкции коксового низкометаморфозного угля месторождения «Восточный пласт – 2» при различных температурах. При увеличении температуры с 450 °С до 610 °С процентное содержание метана снижается с 64,5 % до 42,3 %, гексена C_6H_{12} снижается с 3,5 % до 1,05 %, водорода значительно увеличивается с 5,71 % до 21,9 %.

Анализируя полученные графики, можно будет сделать выводы о сходстве в поведении углеродных компонентов при термической деструкции двух типов угля.

Выводы

Исследования показывают, что оба типа угля, как коксовый низкометаморфозный, так и коксовый фюзинитовый, обладают достаточным выходом углеводородных и водородных компонентов в процессе термической деструкции. Однако образцы коксового фюзинитового угля месторождения «Богенбай Жила» продемонстрировали незначительно более высокий выход этих компонентов (на 5 %) по сравнению с образцами коксового низкометаморфозного угля месторождения «Восточный пласт – 2».

Это может быть объяснено тем, что фюзинитовые угли обычно менее зрелые, чем низкометаморфозные угли [10, с.212]. Следовательно, они могут содержать больше органических материалов, которые могут быть лучше подвержены деструкции при нагреве, что приводит к большему образованию углеводородных и водородных компонентов.

Максимальный выход углеводородных компонентов обычно наблюдается при температуре 450 °С, после чего начинается постепенное снижение. Это объясняется тем, что при этой температуре происходит разрушение углеродных связей в угле, что способствует образованию углеводородов и водорода. Однако при дальнейшем повышении температуры начинает образовываться полукокс, что снижает выход углеводородных компонентов.

На основании этих результатов рекомендуется использовать температурный интервал от 350 °С до 500 °С для получения максимального выхода углеводородных компонентов при термической деструкции угля.

Информация о финансировании

Данное исследование публикуется в рамках реализации грантового финансирования научных проектов Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, ИРН АР19675062 «Разработка чистой угольной технологии для получения летучих горючих веществ».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Казахстан Текущее состояние угольной энергетики Казахстана [Текст] // Квартальный научный журнал «Журнал экономики и финансов» Институт экономических исследований Казахстана, 2023.

2 **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.

3 **Хуанг, Ю., Унгер, Н., Сторельвмо, Т., Харпер, К., Чжэн, Ю., Хейес, К.** Глобальные радиационные эффекты аэрозольных выбросов твердотопливных плит [Global radiative effects of solid fuel cookstove aerosol emissions] // Журнал «Химия атмосферы и Физика», № 18. – 2018. – С. 5219–5233.

4 **Атякшева, А. В., Атякшева, А. Д., Рывкина, Н. В., Ермеков, М. Т., Рожкова, О. В., Смагулов, А. С.** Анализ эффективности сжигания майкубенского бурого угля в отопительном котле «Камкор-300» [Effectiveness analysis of Maikuben brown coal combustion in the heating boiler «Kamkor-300»] // Журнал физики: серия конференций 2211, – 2022. С.205.

5 **Атякшева, А. В., Жакишев, Б. А., Тайбасаров, Ж. К., Тайбасарова, Ж. Ж., Карагаева М.** Исследование эффективности сжигания казахстанских углей котлов длительного горения мощностью до 100 кВт [Study of Kazakhstan's coals burning efficiency of long-term combustion boilers up 100 kW], Вестник Карагандинского университета. Серия «Физика» № 1(89) – 2018., С. 280.

6 **Мергалимова, А. К., Онгар, Б., Георгиев, А., Калиева, К., Абитаева, Р., Биссенбаев, П.** Параметры термической обработки угля с целью получения горючих летучих веществ [Parameters of heat treatment of coal to obtain combustible volatile substances] Журнал «Энергия», Том № 224 – 2021, С. 148.

7 **Кондратьев, Р.** Комплексное повышение энергоэффективности и экологичности твердотопливной котельной [Comprehensive improvement of energy efficiency and environmental friendliness of a solid fuel boiler house] // Журнал «Материалы IV Международной научной конференции «Строительство и архитектура: теория и практика инновационного развития» (САТРИД-2021 Часть 1). – 2021. – № 281. – С. 7.

8 Казахстан 2022. Обзор энергетического сектора. Международное агентство энергетического сектора [Текст]. 2022.

9 ISO 12963:2017 Газовый анализ. Методы сравнения для определения состава газовых смесей на основе одно- и двухточечной калибровки. [ISO 12963:2017 Gas analysis Comparison methods for the determination of the composition of gas mixtures based on one- and two-point calibration]. [Язык: английский] – 2017. С.24.

10 **Онгар, Б., Сарсенбаев, Е. А., Мергалимова, А. К.** Чистые угольные технологии, монография: – Алматы, 2023., – С. 349.

REFERENCES

1 Kazakhstan Tekushhee sostoyanie ugol'noj e'nergetiki Kazakhstana [The current state of coal energy in Kazakhstan] // Kvartal'ny'j nauchny'j zhurnal «Zhurnal e'konomiki i finansov» Institut e'konomicheskix issledovaniy Kazakhstana [Quarterly scientific journal «Journal of Economics and Finance» Institute of Economic Research of Kazakhstan], 2023.

2 **Dyagilev, D. V., Shavrin, V. A., Prazyan, T. L.** Bezotxodnoe ispol'zovanie uglej [Waste-free use of coal] // Sbornik trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «E'kologiya i bezopasnost' v texnosfere: Sovremennye problemy i puti resheniya» [Collection of proceedings of the All-Russian scientific and practical conference «Ecology and safety in the technosphere: Modern problems and solutions»]. – Tomsk, 2017. P. 188–191

3 **Huang, Y., Unger, N., Storelvmo, T., Harper, K., Zheng, Y., Heyes, C.** Global'ny'e radiacionny'e e'ffekty ae'rozol'ny'x vy'brossov tverdotoplivny'x plit [Global radiative effects of solid fuel cookstove aerosol emissions] // Journal «Atmospheric Chemistry and Physics», № 18. – 2018. P. 5219–5233

4 **Atyaksheva, A. V., Atyaksheva, A. D., Ryvkina, N. V., Yermekov M. T., Rozhkova O. V. and Smagulov A. S.** Analiz e'ffektivnosti szhiganiya majkubenskogo burogo uglya v otopitel'nom kotle «Kamkor-300» [Effectiveness analysis of Maikuben brown coal combustion in the heating boiler «Kamkor-300»]. Journal of Physics: Conference Series 2211, – 2022. – 205 p.

5 **Atyaksheva, A. V., Zhakishev, B. A., Taybasarov, Zh. K., Taybasarova, Zh. Zh., Karagaeva, M.** Issledovanie e'ffektivnosti szhiganiya kazaxstanskix uglej kotlov dlitel'nogo gorenija moshhnost'yu do 100 kVt

[Study of Kazakhstan's coals burning efficiency of long-term combustion boilers up 100 kW]. // Bulletin of Karaganda University. Physics Series № 1 (89) – 2018, – 280 p.

6 **Mergalimova, A. K., Ongar, B., Georgiev, A., Kalieva, K., Abitaeva, R., Bissenbaev P.** Parametry` termicheskoy obrabotki uglya s cel'yu polucheniya goryuchix letuchix veshhestv [Parameters of heat treatment of coal to obtain combustible volatile substance]. // Energy. Volume 224 – 2021., 148 p.

7 **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] // Journal «Material of IV International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» (CATPID-2021 Part 1). – 2021. – № 281. – С. 7.

8 Kazaxstan Obzor e`nergeticheskogo sektora. Mezhdunarodnoe agentstvo e`nergeticheskogo sektora [Kazakhstan 2022. Energy Sector Review. International Energy sector agency]. – 2022.

9 ISO 12963:2017 Gazovy`j analiz. Metody` sravneniya dlya opredeleniya sostava gazovy`x smesej na osnove odno- i dvuxtochechnoj kalibrovki [ISO 12963:2017 Gas analysis Comparison methods for the determination of the composition of gas mixtures based on one- and two-point calibration]. [Language : English] – 2017. – 24 p.

10 **Ongar, B., Sarsenbaev, E. A., Mergalimova, A. K.** Chisty`e ugol`ny`e texnologii monografiya, [Clean Coal Technologies], [monograph], Almaty – 2023., – 349 p.

Поступило в редакцию 25.04.24.

Поступило с исправлениями 29.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

А. К. Мерғалимова¹, А. В. Атякшева¹, * М. Б. Айтмағамбетова¹,
Н. Қ. Сейтжаппаров², А. Н. Жолдыбаева²

¹Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина Қазақстан Республикасы, Астана қ.

²Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

25.04.24 ж. баспаға түсті.

29.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ОТЫН ГАЗДАРЫН ӨНДІРУДІҢ ТАЗА КӨМІР ТЕХНОЛОГИЯСЫН ДАМУЫ МӘСЕЛЕСІ ТУРАЛЫ

«Шығыс алаңы – 2 және Бөгенбай – Жыла» кен орындары сияқты метаморфоздылығы төмен қазақстандық көмірлерде жүргізілген зерттеулер циклогексан, метан және сутегі сияқты әртүрлі газдарды шығару үшін оңтайлы температура диапазоңдарын анықтауға мүмкіндік берді. Бұл газдар кейінгі сұйылту үшін ең тиімді фрагменттер болып табылады. Фусинитті және төмен метаморфозды көмірлердің көмірсутекті және сутегі компоненттерінің жоғары шығымдылығын ерекше атап өткен жөн, бұл оларды кейіннен сұйылтумен тікелей жану технологиясы үшін тартымды етеді. Сонымен қатар, бұл зерттеулер табиғи ресурстарды пайдаланудың тиімдірек және экологиялық таза технологияларын жасауға әкелуі мүмкін. Дәстүрлі энергия көздерінің шектеулері мен көмір сияқты баламалы көздерге сұраныстың артып келе жатқанын ескере отырып, осы деректерге негізделген технологиялар энергетикалық қауіпсіздік пен тұрақты дамуды қамтамасыз етуде шешуші рөл атқара алады. Газ фрагменттерін сұйылту үшін пайдалану парниктік газдар шығарындыларын азайтуға және қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуға көмектеседі. Бұл зерттеу нәтижелері ұшқыш жанғыш газдарды шығару және оларды кейіннен сұйылту мақсатында метаморфизмнің төмен дәрежесі

бар кокс көмірлерін термиялық қыздыруға арналған құрылғыларды одан әрі әзірлеу және жобалау үшін маңызды.

Кілтті сөздер: сұйылту, ұшқыш отын газдары, термиялық қыздыру, термиялық деструкция, көмірсутек фрагменті, метаморфизм.

*A. K. Mergalimova¹, A. V. Atyaksheva¹, *M. B. Aitmagambetova¹,*

N. K. Seitzhapparov², A. N. Zholdybaeva²

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Republic of Kazakhstan, Astana;

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

Received 25.04.24.

Received in revised form 29.04.24.

Accepted for publication 02.06.24.

ON THE ISSUE OF DEVELOPMENT OF CLEAN COAL TECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF FUEL GASES AND THEIR FURTHER LIQUEFACTION

Studies conducted on low-metamorphosity Kazakhstani coals, such as the «Eastern Plat – 2 and Bogenbay – Zhila» deposits, made it possible to determine the optimal temperature ranges for the release of various gases, such as cyclohexane, methane and hydrogen. These gases are the most effective fragments for subsequent liquefaction. It is especially worth noting that fusinite and low-metamorphosis coals have a high yield of hydrocarbon and hydrogen components, which makes them attractive for direct combustion technology with subsequent liquefaction. In addition, this research could lead to the development of more efficient and environmentally friendly technologies for using natural resources. Given the limitations of traditional energy sources and the growing demand for alternative sources such as coal, technologies based on these data can play a key role in ensuring energy security and sustainable development. The use of gas fragments for liquefaction can help reduce greenhouse gas emissions and reduce negative environmental impacts. These research results are important for further development and design of devices for

thermal heating of coke coals with a low degree of metamorphism, with the aim of releasing volatile combustible gases and their subsequent liquefaction.

Keywords: liquefaction, volatile fuel gases, thermal heating, thermal destruction, hydrocarbon fragment, metamorphism.

Теруге 03.06.2024 ж. жіберілді. Басуға 28.06.2024 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

Корректоры: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс №4248

Сдано в набор 03.06.2024 г. Подписано в печать 28.06.2024 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4248

«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