

Authors Information

Abdrakhimova E.S., PhD (Engineering), Associate Professor,
e-mail: 3375892@mail.ru

Abstract

A ceramic brick was obtained on the basis of waste from the fuel and energy complex: waste of combustible shale – inter-shale clay used as a clay binder and ash-slag material used as a thinning agent and a burnout additive, without the use of natural traditional materials. The linear regression method was used to optimize the composition of ceramic masses and construct model graphs based on the physical and mechanical properties of bricks. The analysis of model graphs is useful both for clarifying the ranges of the state between experiments and for predicting results that were not included in the experiment.

Keywords

Fuel and energy complex, Inter-shale clay, Ash-slag material, Regression analysis.

References

1. Narizhnaya N.Yu., Safronov E.G., Silinskaya E.M. & Abdrakhimov V.Z. Economic and practical expediency of using ash slag and ferropyl of Aktobe region in the production of earthquake-resistant bricks. *Ugol'*, 2021, (10), pp. 33-37. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-33-37.
2. Safronov E.G., Glazunova E.Z., Isaev M.I. & Abdrakhimov V.Z. Economic and practical expediency of using ash and slag material in the production of lightweight bricks. *Ugol'*, 2021, (9), pp. 58-62. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-9-58-62.
3. Safronov E.G., Silinskaya S.M., Narizhnaya N.Yu. & Abdrakhimov V.Z. Ecological expediency of ash slag recycling in the production of wall materials and optimization of ceramic masses according to technical indicators. *Ugol'*, 2021, (6), pp. 44-49. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-6-44-49.

4. Balanovskaya A.V. & Abdrakhimova E.S. Issues of ecological, economic and practical recycling on the use of the fuel and energy complex for the production of thermal insulation materials. *Ecologiya promyshlennogo proizvodstva*, 2021, (3), pp. 19-26. (In Russ.).
5. Abdrakhimov V.Z. Production of alkaline etching sludge of earthquake-resistant bricks on the basis of burnt rock waste – shale clay and non-ferrous metallurgy. *Ecologicheskie systemy i pribory*, 2021, (7), pp. 25-34. (In Russ.).
6. Anpilov S.M. & Abdrakhimov V.Z. The use of light fraction ash and shale clay in the production of earthquake-resistant bricks. *Ugol'*, 2021, (4), pp. 57-62. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-57-62.
7. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S. & Abdrakhimov V.Z. Study regression method, the influence of the content of waste during oil production and petrochemical company on the physico-mechanical parameters of ceramic bricks. *Materialovedenie*, 2017, (6), pp. 31-35. (In Russ.).
8. Agafonova N.C., Abdrakhimova E.S., Dolgiy V.P. & Abdrakhimov V.Z. Optimization of the composition of ceramic masses on the mechanical properties of bricks. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*, 2005, (5), pp. 53-58. (In Russ.).
9. Abdrakhimova E.S. & Abdrakhimov V.Z. Optimization of the composition of ceramic masses considering the combined effect of components on the physical and mechanical properties of acid-resistant materials. *Materialovedenie*, 2006, (11), pp. 42-45. (In Russ.).

For citation

Abdrakhimova E.S. Optimization based on waste of the fuel and energy complex of ceramic masses according to the technical properties of ceramic bricks. *Ugol'*, 2023, (1), pp. 52-56. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-1-52-56.

Paper info

Received November 16, 2022

Reviewed November 30, 2022

Accepted December 26, 2022

Оригинальная статья

УДК 66-91.3:622.332 © П.И. Егоров, М.В. Белоногов, 2023

Высокотемпературная конверсия смесей лигнита и рапсового масла*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-1-56-61>

ЕГОРОВ П.И.

Канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет,
634050, г. Томск Россия,
e-mail: rommel@tpu.ru

БЕЛОНОГОВ М.В.

Аспирант
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет,
634050, г. Томск Россия,
e-mail: 42maxim@mail.ru

В статье рассмотрены особенности аллотермической газификации топливных смесей на основе бурого угля и рапсового масла в различных соотношениях. На основе экспериментальных данных было продемонстрировано, что топливную смесь можно конвертировать в генераторный газ с высоким содержанием горючих компонентов, используя сторонний нагрев видимым светом высокой интенсивности (800-900 Вт/см²). Анализ характерных температур, газового состава и скорости газогенерации показывает, что конверсия смеси, содержащей 40 масс.% рапсового масла, позволяет максимально задействовать тепловые эффекты реакций окисления.

* Исследование проведено в рамках проекта 1.0031.ГЗБ.2020 ГЗ «Наука» в Томском политехническом университете.

Были отмечены три различных режима протекания процесса в зависимости от содержания рапсового масла в смеси. Соотношение производства горючих (CH_4 , CO , H_2) и негорючих (CO_2) компонентов генераторного газа может быть доведено до 1,3:1 при атмосферном давлении. Скорость конверсии такой смеси превышает характерные скорости газификации бурого угля, а температуры на поверхности топлива достигают 1500.

Ключевые слова: топливные смеси, бурый уголь, рапсовое масло, термохимическая конверсия, аллотермическая газификация, генераторный газ, возобновляемое топливо, биотопливо.

Для цитирования: Егоров Р.И., Белоногов М.В. Высокотемпературная конверсия смесей лигнита и рапсового масла // Уголь. 2023. № 1. С. 56-61. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-1-56-61.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в мире наблюдается рост спроса на углеводородные топлива [1]. Динамика потребления энергоресурсов предполагает заметный рост добычи и использования ископаемых топлив, что всегда сопряжено с негативным влиянием газообразных выбросов на окружающую среду [2]. Также одним из негативных факторов является производство большого количества твердых отходов. Для улучшения экологической ситуации и вовлечения в энергетический цикл безотходных источников энергии необходимы новые методики приготовления топливных смесей и переработки отходов [3].

С другой стороны, растет интерес к возобновляемым и альтернативным источникам энергии, использование которых снижает расходование исчерпаемых ресурсов [4]. Такие топлива оказывают меньшее давление на окружающую среду в силу своего химического состава. Однако их свойства требуют существенной модификации энергетической инфраструктуры для эффективного применения.

Одним из способов использования альтернативных органических топлив является применение их в смеси с традиционными, когда одни компоненты смеси компенсируют недостатки других. Наиболее простым методом получения тепловой энергии из любых топлив является их сжигание [5]. Однако для повышения унификации топочных агрегатов имеет смысл предварительно преобразовать смесевые топлива в генераторный газ. Правильный подбор состава смеси позволяет оптимизировать состав генераторного газа [6], а также добиться высокого уровня возобновляемости топлива (за счет использования значительной доли растительных компонентов).

Рапсовое масло (РМ) получило широкое распространение как сырье для производства биодизеля [7]. Использование масла в составе композиций на основе низкокалорийных углей позволит, с одной стороны, повысить энергетику композиций, а с другой, сделать такие топлива частично возобновляемыми при приемлемой цене.

В работе [9] описываются способы преимущественно автотермической газификации смесей угля и жидких топлив в синтез-газ. Однако многие смеси низкокалорийных топлив не обладают достаточной реакционной спо-

собностью для поддержания температуры, обеспечивающей эффективную газификацию за счет частичного сгорания. Использование сторонних источников тепла для аллотермической газификации таких топлив позволит существенно повысить эффективность их конверсии [10]. Использование частично возобновляемых топлив на основе растительных масел, смешанных с дешевыми ископаемыми топливами, вместе с использованием сфокусированного солнечного света для поддержания оптимальных условий процесса конверсии, позволит создать дешевую и доступную цепочку выработки тепловой энергии.

В выполненной работе рассмотрены особенности процесса аллотермической газификации топливных смесей, состоящих из бурого угля и РМ с различным соотношением компонентов. В ходе работы были измерены характерные температуры, скорость газогенерации, а также состав полученной газовой смеси в зависимости от содержания РМ в составе исходной топливной композиции. В качестве стороннего источника нагрева использовался сфокусированный поток света галогенной лампы, что позволяет оценить потенциал использования солнечного излучения.

ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Объектом исследования являлись топливные смеси, приготовленные из бурого угля марки Б2 и РМ. Свойства бурого угля представлены в *табл. 1*.

При приготовлении смесей уголь был измельчен на роторной мельнице для обеспечения большей однородности смеси. Средний размер частиц ~ 140 мкм. В качестве жидкого компонента использовалось нерафинированное рапсовое масло [11], его основные свойства представлены в *табл. 2*.

Концентрация рапсового масла варьировалась от 20 до 60 масс.%. Порция топлива представляет собой плоский слой толщиной 2 мм и объемом порядка 0,5 см³ (масса – порции 0,8-1 г). Экспериментальный стенд (*рис. 1*) состоит из источника света (галогенная лампа

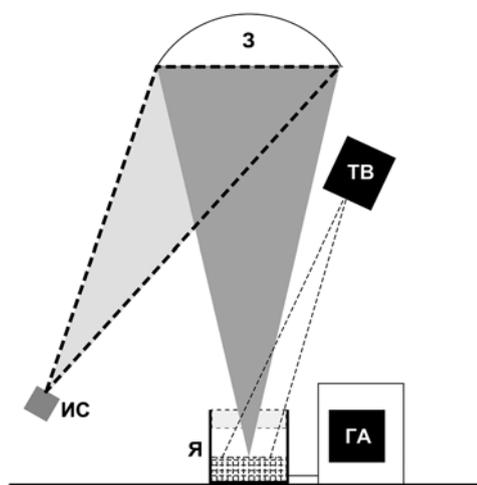


Рис. 1. Экспериментальный стенд. На схеме: ИС – источник света, З – фокусирующее зеркало, ТВ – тепловизор, ГА – газоанализатор, Я – ячейка с топливом

Таблица 1

Свойства бурого угля

W, %	A ^d , %	V, % на daf	Q _{s,v} ^a , МДж/кг	Элементный состав, % на daf					Физические свойства		
				С	Н	Н	С	О	λ, Вт/(м·К)	C _p , кДж/(кг·К)	a, см ² /с
14,1	4,12	47,63	22,91	73,25	6,516	0,79	0,435	18,99	0,15	2,09	0,007

Таблица 2

Свойства рапсового масла

ρ, кг/м ³	Q ^p , МДж/м ³	T _{вспышки} , °С	T _{застывания} , °С	Элементный состав, % на daf			
				С	Н	О	С
897	36,99	109	-16	78	10	12	<0,01

мощностью 0,5 кВт), параболического зеркала и камеры с топливом.

Навеска помещалась в камеру, заполненную воздухом и оборудованную оптическим окном на верхней грани. Лампа обеспечивает световой поток мощностью до 8 Вт. Оптическая система фокусировала отраженный от зеркала свет на поверхности топлива в световое пятно диаметром до 1,5 мм. Рабочая интенсивность светового потока достигала 880 Вт/см². Это позволяет быстро достигать на поверхности топлива (в границах пятна) температуры порядка 1000°С и поддерживать ее на протяжении всего процесса.

Измельченный бурый уголь обеспечивает достаточно высокое (порядка 60%) поглощение света, поступившего от лампы. В то же время РМ является достаточно прозрачным и не может быть эффективно нагрето потоком видимого света.

Одним из факторов, ограничивающих применение РМ, является тот факт, что испарение летучих компонентов при относительно медленном нагреве обеспечивает высокий уровень потерь тепла. Для эффективного задействования теплоты реакций окисления топлива необходимо быстро увеличить температуру смеси до 600-800°С. Это практически невозможно при интенсивностях нагрева свойственных процессу свободного горения углей (50-100 Вт/см²). Использование высокоинтенсивного нагрева (более 500 Вт/см²) позволяет максимально задействовать тепловые эффекты экзотермических реакций.

Забор газа из ячейки производился через выходной патрубок газоанализатора на боковой поверхности камеры. В тракт газоанализатора установлена система сбора конденсата и каскадной фильтрации газов. Далее газ прокачивался через датчики газоанализатора ТЕСТ-1 фирмы БОНЭР (измеряет концентрации CO, CO₂, H₂, SO₂, NO_x, H₂S и CH₄).

Измерение температуры поверхности топлива производилось с помощью тепловизора PI 1M фирмы Opttris. Погрешности измерений температуры составляли до 5%. Ошибки измерения концентраций газов не превышали 8%.

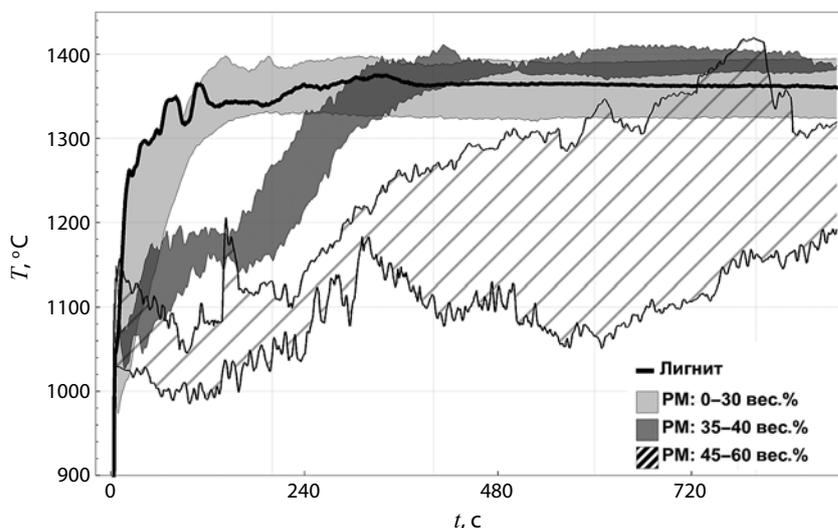


Рис. 2. Зависимости температур от времени для различных концентраций РМ в составе смеси. Заливка отмечает выделенные температурные режимы

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ
Температурные режимы конверсии топливной смеси

При включении радиационного нагрева начинается быстрый рост температуры образца. Разогрев смеси происходит за счет теплового потока от внешнего источника, а также за счет тепловых эффектов реакций окисления смеси. Максимальные температуры, отмеченные в ходе измерения, достигали 1450°С. На рис. 2 представлены зависимости температур от времени нагрева.

Использованный источник света сам по себе не способен нагреть смесь до температур свыше 700°С. Дальнейший рост температуры обусловлен тепловыми эффектами экзотермических реакций окисления. Ускорение данных реакций с ростом температуры (подчиняющееся закону Аррениуса) продолжается до тех пор, пока не будет достигнут баланс нагрева и тепловых потерь. При отключении стороннего нагрева реакция быстро затухает, так как смесь, содержащая большое количество масла, практически не способна к самоподдерживающемуся горению в данных условиях.

Рост концентрации масла приводит к интенсификации процессов пиролиза и испарения летучих компонентов на начальных этапах нагрева, что обуславливает

избыточные потери тепла. В начале процесса нагрев чистого бурого угля происходит гораздо быстрее, чем нагрев топливных смесей, вследствие значительно меньшего уровня потерь тепла. Топливные смеси, содержащие малое количество РМ, разогреваются подобно чистому углю из-за малой интенсивности процессов испарения и пиролиза.

По результатам мониторинга температуры топлива в ходе конверсии были выявлены три характерных температурных режима (см. рис. 2). Первый режим характеризуется быстрым ростом температуры топливной смеси с дальнейшим переходом в стационарное состояние с $T \sim 1300-1400^\circ\text{C}$. Такой режим характерен как для сухого бурого угля, так и для смесей с концентрациями РМ до 30 масс. %.

Температура газификации смесей, содержащих от 35 до 40 масс. % РМ, растет медленнее после достижения 1000°C , но достигает в итоге больших значений ($1400-1450^\circ\text{C}$). В данном случае, тепло преимущественно расходуется на термическое разложение и испарение компонентов РМ. Это происходит до тех пор, пока температура смеси не достигнет до уровня, достаточного для устойчивого окисления топлива (1200°C через 200 с нагрева). В этот момент рост температуры становится подобным наблюдавшемуся в первом режиме нагрева для смесей, содержащих малое количество РМ, с дальнейшим выходом на установившееся значение.

Третий режим наблюдается для смесей с высокими концентрациями масла (45-60 масс. %). Он характеризуется длительным нагревом топливной смеси после достижения 1050°C и выходом на максимальные температуры порядка 1350°C после 700-750 с нагрева. В данном случае достижение максимальных температур происходит значительно плавнее, чем для смесей с меньшими концентрациями РМ. Замедление роста температур, на наш взгляд, вызвано ранее отмеченными потерями тепла вследствие испарения и пиролиза РМ.

Пиковые температуры смеси увеличиваются с добавлением РМ в состав топлива. Самая высокая температура достигается при концентрации масла 35 масс. %. В дальнейшем, с ростом содержания РМ, в смеси идет общее снижение характерных температур и резкое их падение при концентрации РМ свыше 45 масс. %.

Зависимость состава газов от состава топливной смеси

На рис. 3, а, б представлены зависимости концентраций различных газов, получаемых в ходе эксперимента, от доли РМ в образце топлива.

Наиболее массовыми продуктами являются CO_2 , CO и CH_4 (доля атмосферного азота в атмосфере камеры составляет порядка 70%, что приводит к небольшим значениям объемных концентраций получаемых газов). Оксиды углерода образуются преимущественно в ходе прямого окисления углерода из состава бурого угля, в то время как предельные углеводороды (метан и этан) имеют преимущественно пиролитическое происхождение [12]. Несмотря на то, что температуры достаточны для протекания реакций синтеза метана, их интенсивность мала, так как процесс идет при атмосферном давлении.

Важным источником добавочного тепла является сгорающий углерод, содержащийся в буром угле. То есть наиболее массовые продукты газификации выделяются преимущественно в результате реакций [12]:



Основная часть кислорода, который находится в камере, расходуется на реакции 1 и 2, в результате чего выделяется тепло, используемое для достижения температур выше 700°C и поддержания высокотемпературных реакций, происходящих в ходе конверсии топлива. Реакции 3 и 4, являющиеся основными при паровой газификации, носят эндотермический характер и идут в зоне высоких температур и низких давлений. Однако рассматриваемые смеси содержат мало воды, что снижает вероятность протекания таких реакций. Реакция 5 описывает восстановление CO_2 до CO при высокой температуре. В рассматриваемом случае ее присутствие очень вероятно в силу наблюдаемых температурных режимов [13].

При газификации бурого угля соотношение CO и CO_2 находится в пределах 1:3, уровень производства водорода исчезающе мал из-за недостатка воды. При добавлении в смесь РМ с концентрациями свыше 20 масс. % соотношение CO и CO_2 достигает 1:2. Также начинается образование предельных углеводородов (CH_4 , C_2H_6), концентрации которых достигают уровня, сопоставимого с выработкой CO_2 . Концентрация H_2 достигает 1000 ppm, то есть на порядок меньше концентраций основных компонентов. В совокупности с большим количеством CO все это позволяет получить генераторный газ с высокой теплотой сгорания. Самым оптимальным составом исходного топлива, с точки зрения теплоты сгорания газовой смеси, является композиция с 40-45 масс. % РМ.

При концентрациях РМ, превышающих 50 масс. %, происходит сильное падение производства газов из-за снижения характерных температур процесса. Данный факт, в свою очередь, связан с уменьшением концентрации бурого угля как основного источника тепла.

Из рис. 3, б следует, что с ростом концентрации РМ падает генерация H_2S и NO_x , но растет концентрация NO . Оксиды серы присутствуют в составе газовой смеси в минимальном количестве, при концентрации масла ~ 30 масс. % их концентрация достигает локального максимума. С ростом содержания масла в составе образца топлива уровень H_2S неизменно снижается и опускается до нулевого значения при достижении концентрации РМ 55 масс. %.

С ростом концентрации РМ происходит резкое снижение выработки оксидов азота и при 55 масс. % РМ она достигает околонулевых значений.

Максимальное выделение диоксидов азота, происходит при газификации сухого бурого угля. При добавлении РМ,

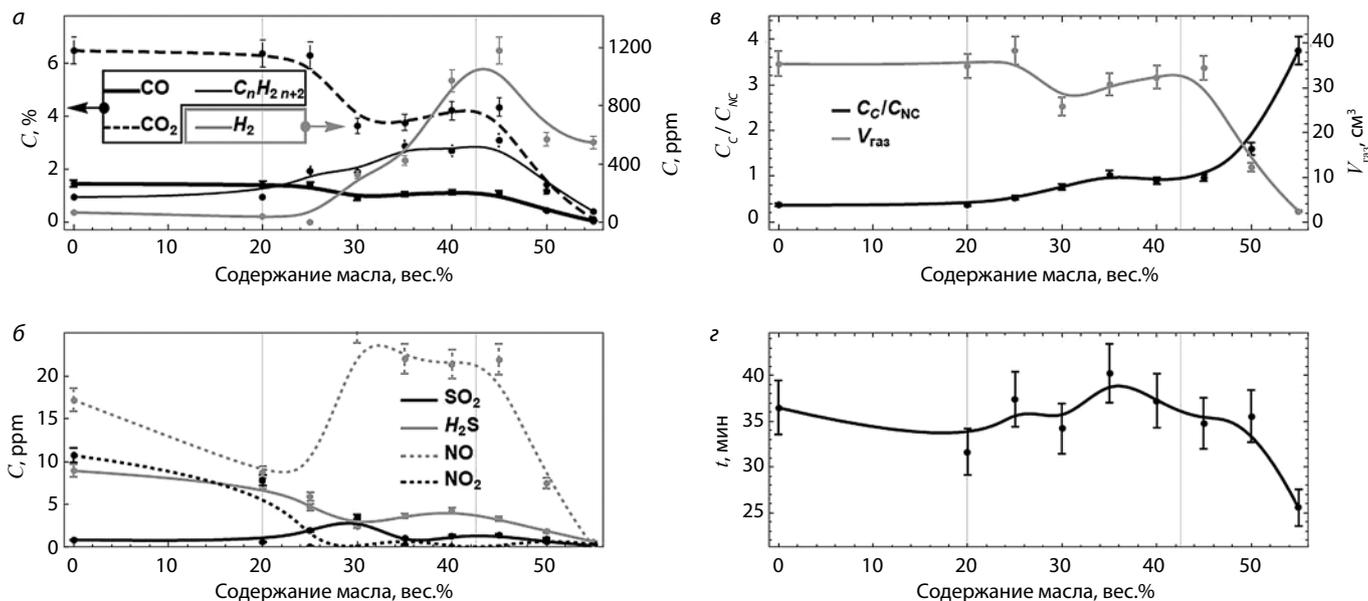


Рис. 3. Зависимости состава генераторного газа (а, б), соотношения его горючих и негорючих компонентов (в), характерного времени конверсии (г) от содержания рапсового масла в смеси

уровень NO₂ падает и достигает околонулевых значений при содержании РМ на уровне ~30 масс.%. Можно отметить, что в целом добавление РМ в состав топлива не приводит к росту концентрации вредных компонентов в получаемой газовой смеси.

На рис. 3, в представлены зависимости соотношения новопроизведенных горючих и негорючих компонентов получаемой газовой смеси, а также общей производительности газогенерации от концентрации РМ. Можно заключить, что с ростом содержания РМ в составе топлива, это соотношение неизменно растет. Концентрация азота в камере реактора поддерживается на близком к атмосферному уровню. Однако общее количество образовавшихся газов начинает снижаться, когда концентрация РМ превосходит 20 масс.%. Когда содержание РМ в смеси превосходит 45 масс.%, газогенерация резко падает. Следовательно, дальнейшее увеличение концентрации РМ нецелесообразно.

На рис. 3, г представлена характерная длительность процесса газогенерации в зависимости от концентрации РМ в образце топлива (при одинаковых массах образца). При увеличении доли рапсового масла в составе смеси вплоть до уровня 35-40 масс.% продолжительность процесса изменяется мало. Дальнейшее наращивание доли РМ приводит к снижению длительности газогенерации в 1,5 раза. То есть конверсия смесей, содержащих до 40 масс.% РМ, длится приблизительно столько же времени, как и конверсия бурого угля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Топливная смесь, состоящая из бурого угля и рапсового масла, с использованием стороннего источника тепла может быть преобразована в генераторный газ с высоким содержанием горючих компонентов. Использование светового потока с интенсивностью порядка 800-900 Вт/см²

позволяет эффективно газифицировать смесь бурого угля и РМ. Применение сфокусированного солнечного света может эффективно поддерживать термохимическую конверсию таких смесей. Оптимальное соотношение угля и РМ составляет 6:4.

Список литературы

1. Макаров А.А., Митров Т.А., Григорьев Л.М. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года. Москва: ИНЭИ РАН, 2014. 170 с.
2. Allothermal gasification of peat and lignite by a focused light flow / A.S. Zaitsev, R.I. Taburchinov, I.P. Ozerova et al. // Applied Sciences (Switzerland). 2020. Vol. 10. 126665.
3. Environmental Aspects and Energy Characteristics of the Combustion of Composite Fuels Based on Peat, Oil, and Water / K.Y. Ver-shinina, V.V. Dorokhov, G.S. Nyashina et al. // Solid Fuel Chemistry. 2019. No 5. P. 294-302.
4. Махова А.В., Нелипа А.В. Анализ и перспективы использования альтернативных источников энергии в России в 2014-2024 гг. // Евразийский союз ученых. 2018. № 3-4. С. 41-44.
5. Лебедева Е.А. Проблемы сжигания топливных смесей переменного состава // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 3. С. 48-53.
6. Мракин А.Н., Сотников Д.Г. Оценка топливной эффективности энергохимических установок с газификацией углеводородного сырья // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газозенергоснабжения. 2019. № 1. С. 162-165.
7. Ridwan I., Chinwanitcharoen C., Tamura K. A new biodiesel production by water addition to supercritical tert-butyl methyl ether using a plug flow reactor // Fuel. 2021. Vol. 305. 121512.
8. Доржиев А.А., Грищенко С.В. Получение этиловых эфиров рапсового масла сорта «надежный-92» // Проблемы современной аграрной науки. 2020. № 4. С. 161-165.

9. Kuznetsov B.N. Catalytic methods in coal processing to syn-gas, carbonaceous and liquid fuels contributing to sustainable development // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2009. Vol. 16. P. 7057-7063.
10. Афанасьев В.В., Ковалев В.Г., Тарасов В.А. Выбор схем питания установок электротермической газификации твердых топлив // *Электротехника*. 2020. № 8. С. 17-22.
11. ГОСТ Р 53457-2009. Масло рапсовое. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2011. 21 с.
12. Investigation of the elemental and technical composition and thermophysical properties of coal samples from the Talovsky deposit of Siberia / A.S. Zavorin, V.V. Solomatov, R.B. Tabakaev et al. // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1128. 143021.
13. Алешина А.С., Сергеев В.В. Газификация твердого топлива. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2010. 202 с.

Original Paper

UDC 66-91.3:622.332 © R.I. Egorov, M.V. Belonogov, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 1, pp. 56-61
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-1-56-61>

Title

HIGH-TEMPERATURE CONVERSION OF LIGNITE AND RAPESEED OIL MIXTURES

Authors

Egorov R.I.¹, Belonogov M.V.¹

¹ Tomsk National Research Polytechnic University, Tomsk, 634050, Russian Federation

Authors Information

Egorov R.I., PhD (Physical and Mathematical), Research associate, e-mail: rommel@tpu.ru

Belonogov M.V., Postgraduate student, e-mail: 42maxim@mail.ru

Abstract

The paper discusses features of allothermal gasification of fuel mixtures based on lignite and rapeseed oil in different ratios. Based on experimental data, it was demonstrated that the fuel mixture can be converted into the generator gas with a high content of combustible components using external heating with visible light of high intensity (800-900 W/cm²). Analysis of the characteristic temperatures, gas composition and gas generation rates shows that conversion of the mixture containing 40 wt% of rapeseed oil maximizes the thermal effects of oxidation reactions. Three different modes of the process development were observed depending on the content of rapeseed oil in the mixture. The ratio of the combustible (CH₄, CO, H₂) to non-combustible (CO₂) components of the generator gas can be brought up to 1.3:1 at atmospheric pressure. The conversion rate of such a mixture exceeds the characteristic gasification rates of lignite, and the fuel surface temperatures reach 1500 °C.

Keywords

Fuel mixtures, Lignite, Rapeseed oil, Thermochemical conversion, Allothermal gasification, Generator gas, Renewable fuels, Biofuels.

References

1. Makarov A.A., Mitrov T.A. & Grigoriev L.M. Forecast of the energy sector development globally and in the Russian Federation up to 2040. Moscow, Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, 2014, 170 p. (In Russ.).
2. Zaitsev A.S., Taburchinov R.I., Ozerova I.P. et al. Allothermal gasification of peat and lignite by a focused light flow. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2020, (10), 126665.
3. Vershinina K.Y., Dorokhov V.V., Nyashina G.S. & Romanov D.S. Environmental Aspects and Energy Characteristics of the Combustion of Composite Fuels Based on Peat, Oil, and Water. *Solid Fuel Chemistry*, 2019, (5), pp. 294-302.
4. Makhova A.V. & Nelipa A.V. Analysis and prospects for the use of alternative energy sources in the Russian Federation in 2014-2024. *Evrazijskij soyuz uchyonyh*, 2018, (3-4), pp. 41-44. (In Russ.).
5. Lebedeva E.A. Challenges in combustion of fuel mixtures of variable composition. *Sovremennye naukoymkie tehnologii*, 2019, (3), pp. 48-53. (In Russ.).

Acknowledgements

The study was conducted under Project 1.0031.GZB.2020 GZ'Science' at Tomsk Polytechnic University.

For citation

Egorov R.I. & Belonogov M.V. High-temperature conversion of lignite and rapeseed oil mixtures. *Ugol'*, 2023, (1), pp. 56-61. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-1-56-61](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-1-56-61).

Paper info

Received August 10, 2022

Reviewed November 30, 2022

Accepted December 26, 2022

COAL PREPARATION