

ГАЗИФИКАЦИЯ ТОРРЕФИЦИРОВАННОГО ТОПЛИВА ПРИ ВЫРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Р.Р. Сафин, И.Ф. Хакимзянов, Н.Р. Галяветдинов, Р.Р. Зиятдинов

Казанский национальный исследовательский технологический университет (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), 420015, Российская Федерация, Республика Татарстан, Казань, ул. К. Маркса, д. 68

cfaby@mail.ru

Возрастающая необходимость удовлетворения существующих потребностей населения и промышленности в электрической энергии, особенно в районах, удаленных от централизованного энергоснабжения, приводит к необходимости развития «малой энергетики». Ее основу в данных регионах составляют энергоустановки, работающие на привозном топливе, применение которых влечет за собой проблему повышения стоимости и проблему транспортировки топлива к месту потребления. Решением данной задачи является использование в качестве топлива торрефицированных отходов деревообрабатывающей и сельскохозяйственной промышленности. Рассматривается влияние температуры торрефикации древесного топлива на вырабатываемую мощность электрогенератора. В результате проведенных экспериментов выявлено, что при газификации торрефицированного топлива из растительного сырья вырабатывается генераторный газ с повышенным содержанием водорода и оксида углерода (по сравнению с газификацией необработанного сырья), вследствие чего увеличивается мощность двигателя. Это оказывает прямое влияние на выработку электроэнергии электрогенератором.

Ключевые слова: газификация, электроснабжение, торрефицирование, топливные гранулы

Ссылка для цитирования: Сафин Р.Р., Хакимзянов И.Ф., Галяветдинов Н.Р., Зиятдинов Р.Р. Газификация торрефицированного топлива при выработке электроэнергии для децентрализованных потребителей // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 63–69. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-63-69

В настоящее время более 60 % территории России находятся вне зоны централизованного тепло- и энергоснабжения. В связи с этим возникает острая необходимость развития «малой энергетики», имеющей неоспоримые преимущества по сравнению с централизованными системами — доступную цену и минимальные сроки строительства. Как правило, основу «малой энергетики» составляют энергоустановки с двигателями внутреннего сгорания, работающие на нефтяном топливе. Однако дальнейшее развитие «малой энергетики» осложняется проблемой повышения стоимости и трудностями транспортировки топливных ресурсов к месту потребления. Решением данных проблем является использование в качестве топлива альтернативного источника энергии — отходов деревообрабатывающей и сельскохозяйственной промышленности, огромными запасами которых обладает большинство регионов страны.

Одним из перспективных вариантов рационального использования отходов биомассы является изготовление из них топливных гранул, которые могут составить достойную конкуренцию традиционным источникам энергии [1]. Решению данного вопроса посвящены многие труды. Так, N. Saracoglu и G. Gunduz выполнили исследование по определению эффективности использования в качестве топлива древесных пеллет, в ходе которых установили, что использование древесных пеллет в качестве источника энергии

уменьшает количество выбросов CO₂ и других парниковых газов в атмосферу [2].

В ходе дальнейшего развития данного направления использования отходов биомассы в качестве твердого топлива стали применять предварительную термическую обработку растительного сырья при температуре 180...300 °С в безвоздушной среде [3–7].

В работе [8] представлено исследование физических и энергетических свойств топливных гранул, которые были подвергнуты различной температурной обработке без доступа кислорода. Выявлено, что при увеличении температуры термической обработки древесного сырья увеличивается теплотворная способность топливных гранул.

Научной группой под руководством S.S. Vincent проведены исследования по определению эффективности термической обработки биомассы. Установлено, что внедрение данной технологии позволяет получить топливо из сельскохозяйственных отходов с теплотворной способностью до 24·10³ кДж/кг [9]. Авторами работы [10] показано, что наибольшее влияние на процесс торрефикации оказывает температура обработки, а не ее продолжительность и размеры частиц.

Но чтобы использовать твердое топливо для получения электроэнергии, зачастую требуется его предварительная газификация с последующим сжиганием генераторного газа в двигателе внутреннего сгорания. Цель настоящей работы — установить

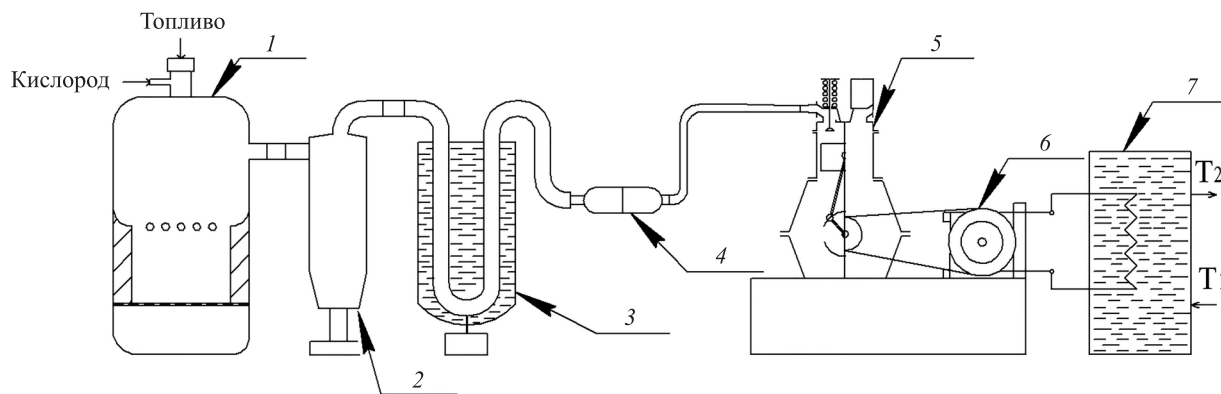


Рис. 1. Технологический комплекс для выработки электрической энергии: 1 — газогенератор; 2 — циклон для охлаждения газа; 3 — змеевиковый теплообменник; 4 — фильтр; 5 — двигатель внутреннего сгорания; 6 — электрогенератор; 7 — теплообменник

Fig. 1. The scheme of a technological complex for development of electric energy: 1 — gas generator; 2 — cyclone for gas cooling; 3 — coiled heat exchanger; 4 — filter; 5 — internal combustion engine; 6 — electric generator; 7 — heat exchanger

влияние температуры торрефикации топлива из биомассы на получение генераторного газа с последующим производством электрической энергии.

Чтобы исследовать влияние температуры термической обработки топлива на производство электроэнергии, создан пилотный энергокомплекс для выработки электроэнергии из генераторного газа, получаемого в результате газификации гранулированного топлива (рис. 1) [11].

Установка работает следующим образом: в бункер — топку газогенератора 1 закладывается биомасса в виде гранул из торрефицированной измельченной древесины. Для изготовления торрефиката сырье подвергается предварительной термической обработке без доступа кислорода воздуха при температуре 200...300 °С с последующим гранулированием. Далее начинается процесс газификации древесины с получением генераторного газа. Полученное газообразное топливо после грубой очистки в циклоне 2, охлаждения в змеевиковом теплообменнике 3 и тонкой очистки в фильтре 4 используется для работы четырех тактного двигателя внутреннего сгорания 5, который, в свою очередь, приводит в действие генератор 6, вырабатывающий электрический ток для нагрева теплоносителя в теплообменнике 7.

В ходе проведения экспериментов были определены теплофизические свойства топлив. Об-

разцы топлива из классического древесного и растительного сырья, используемые в данном исследовании, были сопоставлены с биомассой этих же видов топлива, подвергнутых термической обработке (таблица).

В процессе проведения исследования был определен состав получаемого генераторного газа в зависимости от температуры торрефикации топлива (рис. 2). Установлено, что проведение термической обработки топлива позволяет уве-

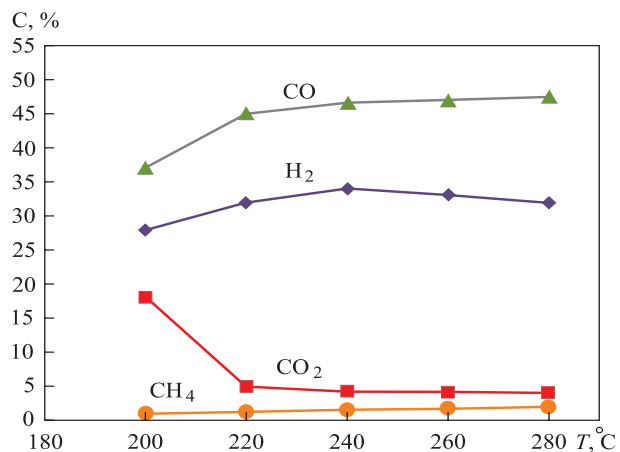


Рис. 2. Состав генераторного газа, полученного при газификации торрефицированного топлива из биомассы
Fig. 2. Composition of the generating gas received at gasification of torrefied fuel from biomass

Т а б л и ц а

Теплофизические свойства топливных гранул
Heat-physical properties of fuel granules

Теплофизическое свойство	Топливные гранулы из древесного сырья	Топливные гранулы из растительного сырья	Торрефицированные топливные гранулы из древесного сырья	Торрефицированные топливные гранулы из растительного сырья
Максимальная теплота сгорания, Дж/г	19 365	19 989	22 564	23 109
Зольность, %	24,3	10,8	25,8	13,6

личить содержание в составе генераторного газа водорода и оксида углерода при одновременном уменьшении диоксида углерода.

В ходе экспериментальных исследований установлено влияние генераторного газа, полученного при газификации торрефицированного топлива, на мощность двигателя внутреннего сгорания (рис. 3). Как видно из графика, мощность двигателя увеличивается в зависимости от увеличения температуры термической обработки топлива.

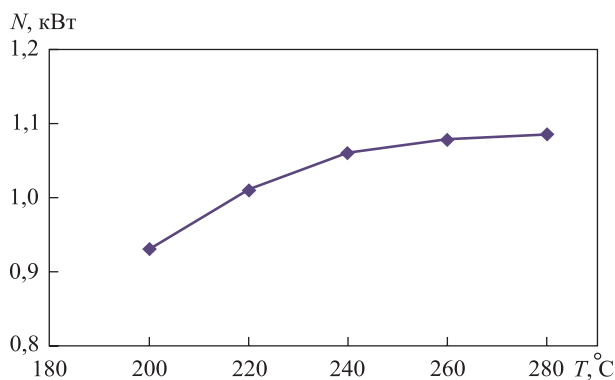


Рис. 3. Зависимость мощности двигателя от температуры торрефикации топлива из биомассы

Fig. 3. The dependence of the power of engine from the temperature of torrefaction of biomass fuels

Кроме того, с целью подтверждения энергоэффективности использования в качестве топлива торрефицированного растительного сырья были проведены исследования по определению количества вырабатываемой энергии по сравнению с топливными гранулами, не подвергнутыми термической обработке (рис. 4).

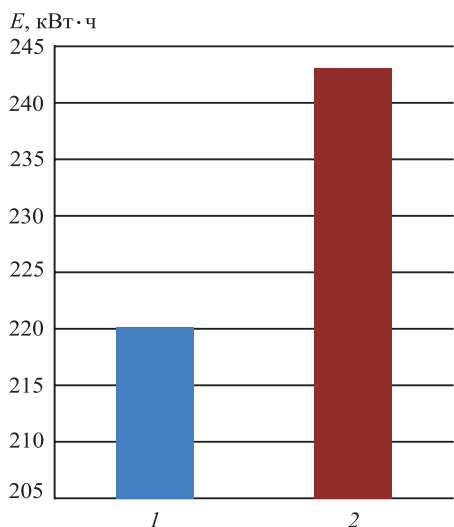


Рис. 4. Сравнительные характеристики выработки электроэнергии из различных источников: 1 — растительное сырье; 2 — торрефицированное растительное сырье

Fig. 4. Comparative characteristics of power generation from various sources: 1 — vegetable raw materials; 2 — torrefied vegetable raw materials

Как видно из диаграммы, предварительная термическая обработка топливных гранул позволяет увеличить производство электрической энергии по сравнению с необработанными топливными гранулами.

Таким образом, использование торрефицированных топливных гранул в качестве источника энергии позволяет увеличить производительность всего энергетического комплекса.

Данная работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — докторов наук (МД — 5596.2016.8).

Список литературы

- [1] Shayakhmetova A.H., Nazipova F.V., Safin R.R., Timerbaeva A.L., Safina A.V. Alternative types of solid bio-fuels and their comparative characteristics // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, 15th. SGEM, 2015. pp. 53–58.
- [2] Sarakoglu N., Gunduz G. Wood Pellets – Tomorrow’s Fuel for Europe // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2009, v. 31, iss. 19, pp. 1708–1718.
- [3] Способ термообработки древесины Пат. 2422266 Российская Федерация, МПК В 27 К 5/00 / Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Зиятдинова Д.Ф., Хайрутдинов С.З., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е., Шайхутдинова А.Р.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр по разработке прогрессивного оборудования» (ООО «НТЦ РПО»). № 2009146406/21; заявл. 14.12.2009; опубл. 27.06.2011, Бюл. № 2. 6 с.
- [4] Способ термической обработки древесины Пат. 2453425 Российская Федерация, МПК В 27 К 3/02 / Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Сафин Р.Г., Данилова Р.Г., Кайнов П.А., Оладышкина Н.А., Белякова Е.А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский государственный технологический университет». № 2011101723/13; заявл. 18.01.2011; опубл. 20.06.2012, Бюл. № 17. 7 с.
- [5] Safin R.R., Shaikhutdinova A.S., Khasanshin R.R., Akhunova L.V., Safina A.V. Improving the energy efficiency of solid wood fuel // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, 15th. SGEM. 2015. pp. 315–322.
- [6] Шаяхметова А.Х., Сафин Р.Р., Тимербаева А.Л., Зиятдинов Р.Р. Торрефицирование твердых видов биотоплива из древесины и лузги подсолнечника // Вестник Казанского технологического университета, 2015. Т. 18. № 8. С. 138–141.
- [7] Сафин Р.Р., Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А. Методология снижения энергетических затрат и разработка новых принципов в процессах сушки и термовлажностной обработки материалов // Вестник Казанского технологического университета, 2015. Т. 18. № 11. С. 128–131.
- [8] Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Тимербаева А.Л., Сафина А.В. Исследование физических и энергетических свойств топливных гранул на основе термомодифицированного древесного сырья // Инженерно-физический журнал, 2015. Т. 88. № 4. С. 925–928.

- [9] Vincent S.S., Mahinpey N., Mani T. Torrefaction of Flax Straw Biomass and Its Kinetic Studies // *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2015, v. 37, iss. 21, pp. 2338–2345.
- [10] Garba M.U., Gambo S.U., Musa U., Tauheed K., Alhassan M., Adeniyi O.D. Impact of torrefaction on fuel property of tropical biomass feedstocks // *Biofuels*, 2017, pp. 1–9.
- [11] Хакимзянов И.Ф. Разработка технологического комплекса по экономии топливно-энергетических ресурсов для получения тепловой энергии // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса сб. науч. тр. III Международной научно-технической конференции. Кострома: КГТУ, 2015. С. 147–148.

Сведения об авторах

Сафин Руслан Рушанович — д-р техн. наук, профессор, кафедра «Архитектура и дизайна изделий из древесины», Казанский национальный исследовательский технологический университет (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), cfaby@mail.ru

Хакимзянов Ильшат Фердинатович — аспирант кафедра «Архитектуры и дизайн изделий из древесины», Казанский национальный исследовательский технологический университет (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), ilshat_170@mail.ru

Галяветдинов Нур Равилевич — канд. техн. наук, доцент, кафедра «Архитектура и дизайн изделий из древесины», Казанский национальный исследовательский технологический университет (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), nour777@mail.ru

Зиятдинов Радис Решидович — канд. техн. наук, доцент, кафедра «Переработка древесных материалов», Казанский национальный исследовательский технологический университет (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), olambis@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 05.06.2017 г.

GASIFICATION OF TORREFIED FUEL AT POWER GENERATION FOR THE DECENTRALIZED CONSUMERS

R.R. Safin, I.F. Khakimzyanov, N.R. Galyavetdinov, R.R. Ziatdinov

Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx street, Kazan, 420015, Republic of Tatarstan, Russia
cfaby@mail.ru

The increasing need of satisfaction of the existing needs of the population and the industry for electric energy, especially in the areas remote from the centralized energy supply, results in need of development of «small-scale energy generation». At the same time the basis in these regions is made by the energy stations, using imported fuel, which involve a problem of increase in cost and transportation of fuel to the place of consumption. The solution of this task is the use of the torrefied waste of woodworking and agricultural industry as fuel. The influence of temperature of torrefaction of wood fuel on the developed electric generator power is considered in the article. As a result of the experiments it is revealed that at gasification of torrefied fuel from vegetable raw material the generating gas with the increased content of hydrogen and carbon oxide, in comparison with gasification of the raw materials, is produced. Owing to this the engine capacity increases, that exerts direct impact on power generation by the electric generator.

Keywords: gasification, power supply, torrefaction, fuel granules

Suggested citation: Safin R.R., Khakimzyanov I.F., Galyavetdinov N.R., Ziatdinov R.R. Gasification of torrefied fuel at power generation for the decentralized consumers. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 63–69. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-63-69

More than 60 % of territory of the Russian Federation is out of a zone of centralized heat and power supply nowadays. In this regard there is an urgent need for development of the «small-scale energy generation» having a number of indisputable advantages in comparison with the centralized systems — the reasonable price and the minimum terms of construction. As a rule, the main share of «small-scale energy generation» is made by the power stations with internal combustion engines, using oil fuel. However further development of «small-scale energy generation» is complicated by a problem of increase in cost and transportation of fuel resources to the place of consumption. The solution of this problem is use waste from the woodworking and agricultural industries fuel of an alternative energy source.

One of the perspective options of rational use of waste of biomass is production of fuel granules which can make the worthy competition to traditional power sources [1]. Many works are devoted to the solution of the matter. N. Saracoglu and G. Gunduz have executed the research on effective use of wood pellet as fuel. It has been established that the use of wood pellet as a power source reduces the number of emissions of CO₂ and other greenhouse gases in the atmosphere [2].

Preliminary heat treatment of vegetable raw materials at temperatures of 180...300 °C in the airless environment became the further development of the direction of use of waste of biomass as solid fuel [3–7].

Physical and energy properties of fuel granules subjected to various temperatures of processing without oxygen access have been investigated in work [8]. It is revealed that at increase in temperature of heat treatment of wood raw materials the calorific ability of fuel granules increases.

The scientific group under the direction of S.S. Vincent etc. has conducted the research on finding efficiency of heat treatment of biomass. It is revealed that carrying out this technology allows to receive fuel from agricultural waste with calorific ability to 24·10³ kJ/kg [9] and that the processing temperature has the greatest impact on the process of a torrefaction, than duration and the sizes of particles [10].

However the use of solid fuel in processes of receiving the electric power often requires its preliminary gasification with the subsequent combustion of generating gas in the internal combustion engine.

Thus, the task of finding influence of temperature of torrefaction of fuel from biomass on receiving the generating gas with the subsequent production of electric energy has been set in the offered work.

With a research objective of influence of temperature of heat treatment of fuel on electricity generation the pilot energy complex for power generation from the generating gas, received as a result of gasification of the granulated fuel (fig. 1), has been created [11].

The installation works as follows: biomass in the form of granules from the torrefied crushed wood is put in the bunker — fire chamber of a gas generator 1. For production of fuel the raw material was exposed to preliminary heat treatment without air oxygen access at temperatures of 200–300 °C with the subsequent granulation. Further the process of gasification with receiving generating gas begins. The received gaseous fuel, after rough cleaning in a cyclone 2, cooling in the coiled heat exchanger 3 and thin cleaning in the filter 4, is used for operation of the 4-stroke internal combustion engine 5 which, in turn, puts the generator 6, developing electric current for heating of the heat carrier in the heat exchanger, 7 in action.

The heat-physical properties of fuels have been

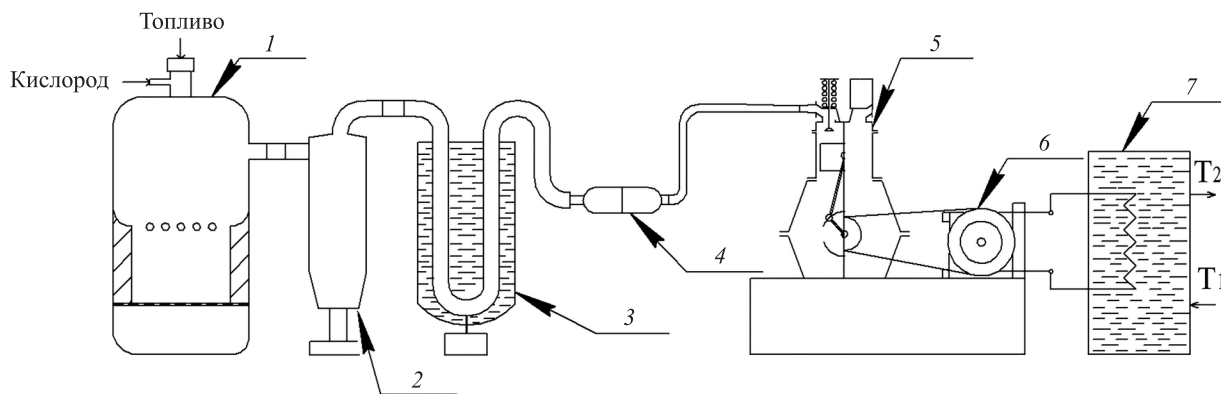


Fig. 1. The scheme of a technological complex for development of electric energy: 1 — gas generator; 2 — cyclone for gas cooling; 3 — coiled heat exchanger; 4 — filter; 5 — internal combustion engine; 6 — electric generator; 7 — heat exchanger
Рис. 1. Технологический комплекс для выработки электрической энергии: 1 — газогенератор; 2 — циклон для охлаждения газа; 3 — змеевиковый теплообменник; 4 — фильтр; 5 — двигатель внутреннего сгорания; 6 — электрогенератор; 7 — теплообменник

defined during the experiments. The fuel samples from classical wood and vegetable raw materials used in this research have been compared with biomass of the same types of fuel, subjected to heat treatment (table).

In the course of carrying out a research the composition of the received generating gas, depending on temperature of torrefaction of fuel (fig. 2), has been defined. Carrying out heat treatment of fuel allows increasing contents of hydrogen and carbon

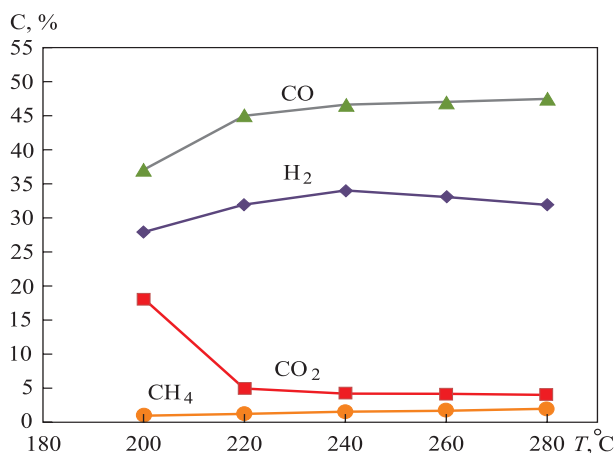


Fig. 2. Composition of the generating gas received at gasification of torrefied fuel from biomass

Рис. 2. Состав генераторного газа, полученного при газификации торрефицированного топлива из биомассы

oxide as a part of generating gas at simultaneous reduction of carbon dioxide.

The influence of the generating gas, received at gasification of torrefied fuel on the engine capacity of internal combustion, has been defined (fig. 3). According to the graph, engine capacity increases depending on increase in temperature of heat treatment of fuel.

In addition, to confirm the energy efficiency of use of the torrefied plant material (as fuel), the researches on definition of amount of energy, produced in com-

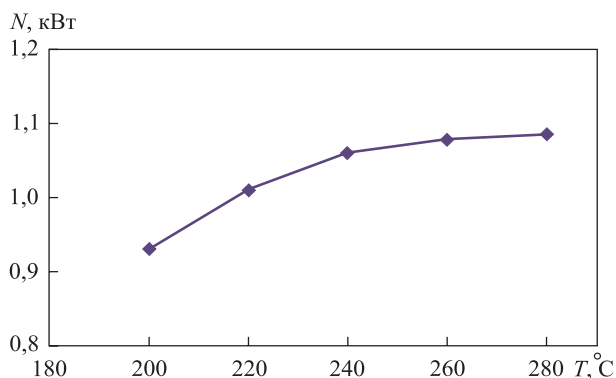


Fig. 3. The dependence of the power of engine from the temperature of torrefaction of biomass fuels

Рис. 3. Зависимость мощности двигателя от температуры торрефикации топлива из биомассы

Table

Heat-physical properties of fuel granules
Теплофизические свойства топливных гранул

Heatphysical properties	Fuel granules from wood raw materials	Fuel granules from vegetable raw materials	Torrefied fuel granules from wood raw materials	Torrefied fuel granules from vegetable raw materials
The highest heat of combustion, J/g	19 365	19 989	22 564	23 109
Ash-content, %	24,3	10,8	25,8	13,6

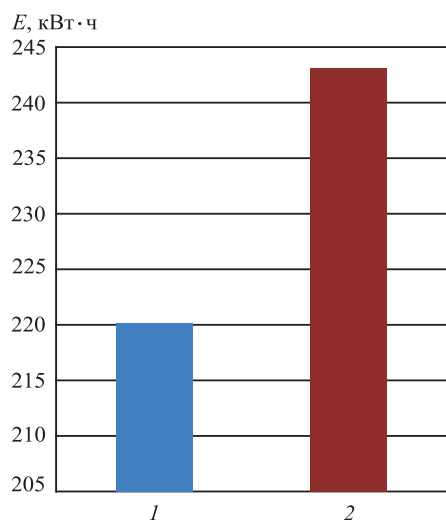


Fig. 4. Comparative characteristics of power generation from various sources: 1 — vegetable raw materials; 2 — torrefied vegetable raw materials

Рис. 4. Сравнительные характеристики выработки электроэнергии из различных источников: 1 — растительное сырье; 2 — торрефицированное растительное сырье

parison with the fuel pellets not subjected to a heat treatment, have been conducted (fig. 4).

According to this graph, pre-heat treatment of fuel granules allows increasing production of electric energy in comparison with the raw fuel granules.

The work was performed with support of grant of President of Russian Federation for state support of young Russian scientists — doctors of Sciences (MD-5596.2016.8).

References

- [1] Shayakhmetova A.H., Nazipova F.V., Safin R.R., Timerbaeva A.L., Safina A.V. Alternative types of solid biofuels and their comparative characteristics. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, 15th. SGEM, 2015, pp. 53–58.
- [2] Sarakoglu N., Gunduz G. Wood Pellets – Tomorrow’s Fuel for Europe. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2009, v. 31, iss. 19, pp. 1708–1718.
- [3] Sposob termoobrabotki drevesiny [Method of heat treatment of wood] Pat. 2422266 Russian Federation, IPC B 27 K 5/00.
- [4] Sposob termicheskoy obrabotki drevesiny [A method of thermal processing of wood] Pat. 2453425 Russian Federation, the IPC B 27 K 3/02. Safin R.R., Khasanshin R.R., Razumov E.Yu., Safin R.G., Danilova R.G., Kainov P.A., Oladyshkina N.A., Belyakova E. A. Applicant and patent holder State Educational Establishment of Higher Professional Education «Kazan State Technological University». No. 2011101723/13; Claimed. 01/18/2011; Publ. 20.06.2012, Bul. no. 17. 7 p. : 2 ill., 2 pr.
- [5] Safin R.R., Shaikhutdinova A.S., Khasanshin R.R., Akhunova L.V., Safina A.V. Improving the energy efficiency of solid wood fuel. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, 15th. SGEM. 2015, pp. 315–322.
- [6] Shayakhmetova A.Kh., Safin R.R., Timerbaeva A.L., Ziatdinov R.R. Torrefitsirovanie tverdykh vidov biotopliva iz drevesiny i luzgi podsolnechnika [Hardening of hard biofuel from hardwood and sunflower husks hardening] Herald of Kazan Technological University, 2015, v. 18, no. 8, pp. 138–141.
- [7] Safin R.R., Khakimzyanov I.F., Kainov P.A. Metodologiya snizheniya energeticheskikh zatrat i razrabotka novykh printsiptov v protsessakh sushki i termovlazhnostnoy obrabotki materialov [Methodology of energy costs reduction and development of new principles in drying processes and thermal treatment of materials] Herald of Kazan Technological University, 2015, v. 18, no. 11, pp. 128–131.
- [8] Safin R.R., Khasanshin R.R., Timerbaeva A.L., Safina A.V. Issledovanie fizicheskikh i energeticheskikh svoystv toplivnykh granul na osnove termomodifitsirovannogo drevesnogo syr’ya [Investigation of physical and energy properties of fuel pellets based on thermo-modified wood raw materials] Engineering and Physics Journal, 2015, v. 88, no. 4, pp. 925–928.
- [9] Vincent S.S., Mahinpey N., Mani T. Torrefaction of Flax Straw Biomass and Its Kinetic Studies // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2015, v. 37, iss. 21, pp. 2338–2345.
- [10] Garba M.U., Gambo S.U., Musa U., Tauheed K., Alhassan M., Adeniyi O.D. Impact of torrefaction on fuel property of tropical biomass feedstocks. Biofuels, 2017, pp. 1–9.
- [11] Khakimzyanov I.F. Razrabotka tekhnologicheskogo kompleksa po ekonomii toplivno-energeticheskikh resursov dlya polucheniya teplovoy energii [Development of a technological complex for saving fuel and energy resources for obtaining heat energy] Actual problems and prospects for the development of the timber industry complex. Collection of scientific papers of the III International Scientific and Technical Conference. Kostroma: KSTU, 2015, pp. 147–148.

Author’s information

Safin Ruslan Rushanovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, head of the department «Architecture and design of wood», Federal State Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technological University», cfaby@mail.ru

Khakimzyanov Ilshat Ferdinatovich — pg. of the department «Architecture and design of wood», Federal State Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technological University», ilshat_170@mail.ru

Galyavetdinov Nour Ravilevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the department «Architecture and design of wood», Federal State Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technological University», noZiatdinov Radis Reshidovichr777@mail.ru

Ziatdinov Radis Reshidovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the department «Processing of wood materials», Federal State Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technological University», olambis@rambler.ru

Received 05.06.2017