

Повышение эффективности выхода горючей фракции пиролизной жидкости из растительного сырья

В.Г. Сотников, Р.Г. Сафин, А.Н. Загиров, Д.А. Ахметова

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. На сегодняшний день в энергетической отрасли набирает популярность применение технологий, связанных с получением и использованием возобновляемой энергии (биоэнергии). Применение биоэнергии обусловлено постепенным истощением ископаемых ресурсов, использующихся топливно-энергетической промышленностью. Основой биоэнергетики являются способы получения энергии из биотоплива. На данный момент происходит активное развитие технологий получения и расширения спектра применения различных видов биотоплива.

Цель — рассмотрение возможности повышения эффективности выхода горючей фракции, из жидких продуктов медленного пиролиза растительного сырья, используемой в производстве биотоплива.

Методы. Исследование проводилось экспериментально в два этапа на приведённых схемами экспериментальных установках по пиролизу растительного сырья и сепарации пиролизной жидкости. Первый этап заключался процесс получения жидких продуктов медленного пиролиза растительного сырья. Суть второго этапа заключалась в сепарации, полученных на первом этапе, жидких продуктов на отдельные фракции или компоненты, с целью выявления областей их применения. После каждого этапа проводился анализ химического состава полученных продуктов на жидкостном хроматографе.

Результаты. Описаны результаты исследований по получению пиролизной жидкости и сепарации жидких продуктов пиролиза на отдельные фракции дистиллята. В ходе исследований были получены жидкие продукты пиролиза: щепы сосны, щепы ели, кукурузного початка и сливовых косточек, которые разделили на жидкую и смолистую фракцию. Обе фракции проанализировали на предмет горения и выяснили, что жидкая фракция обладает горючими свойствами.

Заключение. Использование системы с двумя конденсаторами позволило повысить эффективность выхода жидких продуктов медленного пиролиза на 19% за счёт доулавливания горючих компонентов. В результате доулавливания увеличилась доля фуранов, кетонов, эфиров, входящих в состав горючей фракции. Горючая фракция, состоящая из: фуранов, кетонов, эфиров, альдегидов, спиртов, ангидросахаров, обладает горючими свойствами и можно предположить, что она подходит для производства биотоплива.

Ключевые слова: пиролиз; пиролизная жидкость; дистиллят; несконденсировавшиеся газы; растительное сырьё.

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Сотников В.Г., Сафин Р.Г., Загиров А.Н., Ахметова Д.А. Повышение эффективности выхода горючей фракции пиролизной жидкости из растительного сырья // Тракторы и сельхозмашины. 2025. Т. 92, № 4. С. **x-y**. doi: 10.17816/0321-4443-636645 EDN: XLEBYR

Increasing the Efficiency of Yield of Combustible Fraction of Pyrolysis Liquid from Plant Raw Materials

Viktor G. Sotnikov, Rushan G. Safin, Aidar N. Zagirov, Dina A. Akhmetova

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Today, the use of technologies related to the production and use of renewable energy (bioenergy) is gaining popularity in the energy industry. The use of bioenergy is due to the gradual depletion of fossil resources on which the fuel and energy industry relies. Bioenergy is based on the production of energy from biofuels. At the moment, there is an active development of technologies for the production and expansion of the range of application of various types of biofuels in bioenergy.

AIM: Consideration of the possibility of increasing the efficiency of the yield of the combustible fraction from liquid products of slow pyrolysis of plant materials used in the production of biofuels.

METHODS: The study was conducted experimentally in two stages on the experimental installations for the pyrolysis of plant materials and the separation of pyrolysis liquid shown in the diagrams. The first stage consisted of the process of obtaining liquid products of slow pyrolysis of plant materials. The essence of the second stage consisted of separating the liquid products obtained at the first stage into individual fractions or components in order to identify areas of their application. After each stage, the chemical composition of the obtained products was analyzed with a liquid chromatograph.

RESULTS: The results of studies on obtaining pyrolysis liquid and separating liquid pyrolysis products into separate distillate fractions are described. As a result of the studies, liquid pyrolysis products were obtained from: pine chips, spruce chips, corn cobs and plum pits, which were separated into a liquid and resinous fraction. Both fractions were analyzed for combustion and it was found that the liquid fraction has flammable properties.

CONCLUSION: The use of a two-condenser system increased the efficiency of liquid slow pyrolysis products by 19% due to the additional recovery of combustible components. This additional recovery increased the proportion of furans, ketones, and esters in the combustible fraction. The combustible fraction, consisting of furans, ketones, esters, aldehydes, alcohols, and anhydrous sugars, exhibits flammable properties and can be assumed to be suitable for biofuel production.

Keywords: pyrolysis; pyrolysis liquid; distillate; uncondensed gases; plant material.

TO CITE THIS ARTICLE:

Sotnikov VG, Safin RG, Zagirov AN, Akhmetova DA. the Efficiency of Yield of Combustible Fraction of Pyrolysis Liquid from Plant Raw Materials. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2025;92(4):x-y. doi: 10.17816/0321-4443-636645 EDN: XLEBYR

Submitted: 02.10.2024 Accepted: 02.11.2025 Published online: 02.11.2025

ОБОСНОВАНИЕ

На сегодняшний день в энергетической отрасли набирает популярность применение технологий, связанных с получением и использованием «зеленой» энергии. В 2023 году применение возобновляемой энергии составило 30% от общего числа применяемой энергии и этот показатель продолжает расти [1]. Согласно международному энергетическому агентству (МЭА) наиболее часто используемыми возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) на 2023 год являются: гидроэнергетика 17%, ветроэнергетика 5,9%, солнечная энергетика 3,2%, биоэнергетика 3%, геотермальная, приливная и прочие энергетика 0,9% [2]. Большая часть из них связана с получением электроэнергии, исключением является биоэнергетика, которая применяется в производстве как электрической, так и тепловой энергии [3].

Биоэнергетика определяется способами получения энергии из биотоплива. Все биотопливо принято разделять на три вида. Первым видом является твёрдое биотопливо, к которому относятся: дрова, брикеты, пеллеты, щепа, солома, лузга. Данный вид топлива применяется для получения тепловой энергии, сжиганием. Ко второму виду относится жидкое биотопливо (биоэтанол, биометанол, биобутанол, диметилловый эфир, биодизель) используемое в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания, а также как топливо для электростанций. Последним, третьим видом является газообразное биотопливо, в группу которого принято относить: биогаз, биоводород, генераторный газ. Биогаз, биоводород и генераторный газ применяются на тепловых электростанциях или в качестве автомобильного газового топлива [4].

На данный момент происходит активное развитие технологий получения и расширения спектра применения различных видов биотоплива в биоэнергетике [5]. Согласно сценарию МЭА количество применяемого биотоплива увеличится с 3% в 2024 году до 5,7% в 2030 году и до 12,3% в 2050 году.

Одним из перспективных направлений развития биоэнергетики является получение жидкого биотоплива. Важным способом получения жидкого биотоплива является термическая переработка растительного сырья методом пиролиза с получением дистиллята с его последующей обработкой [6].

ЦЕЛЬ

Целью исследования является достижение максимального выхода горючей фракции из жидких продуктов пиролиза растительного сырья, используемой в производстве жидкого биотоплива. Проведение анализа пиролизной жидкости для определения её состава и свойств, а также способов её возможного применения [7].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили экспериментально в два этапа. Объектом исследования на первом этапе являлся процесс получения жидких продуктов медленного пиролиза растительного сырья. Суть второго этапа заключалась в сепарации, полученных на первом этапе, жидких продуктов на отдельные фракции или компоненты, с целью выявления областей их применения [8]. После завершения каждого этапа исследования проводился анализ химического состава полученных продуктов на жидкостном хроматографе марки PerkinElmer Flexar.

В качестве растительного сырья применялись: щепа сосны, щепа ели, кукурузный початок и сливовые косточки — изображённые на рис. 1.



a)



b)



c)

Рис. 1. Растительные отходы: а — древесная щепа сосны и ели; б — кукурузный початок; с — сливовые косточки.

Fig. 1. Plant waste: a, pine and spruce wood chips; b, corn cob; c, plum pits.

В табл. 1 приведён структурный состав используемых в экспериментах образцов.

Таблица 1. Структурный состав биомассы**Table 1.** Structural composition of biomass

Образец	Структурный состав, %			
	Гемицеллюлоза	Целлюлоза	Лигнин	Экстрактивные вещества
Сливовые косточки	28,53	34,67	33,07	3,73
Кукурузный початок	33,50	37,63	20,77	8,10
Щепа ели	20,21	48,82	29,10	1,87
Щепа сосны	21,66	47,99	27,65	2,70

Все эксперименты проходили в одинаковых условиях при температуре пиролиза 500 °С с массой образцов перед пиролизом 180 г.

Для определения максимального выхода горючей фракции из жидких продуктов пиролиза применялись две экспериментальные установки, принцип действия которых описан в работах [9–10].

Первый этап исследования, а именно, процесс пиролиза растительного сырья с применением двух конденсаторов проводился на экспериментальной установке, изображённой на рис. 2.

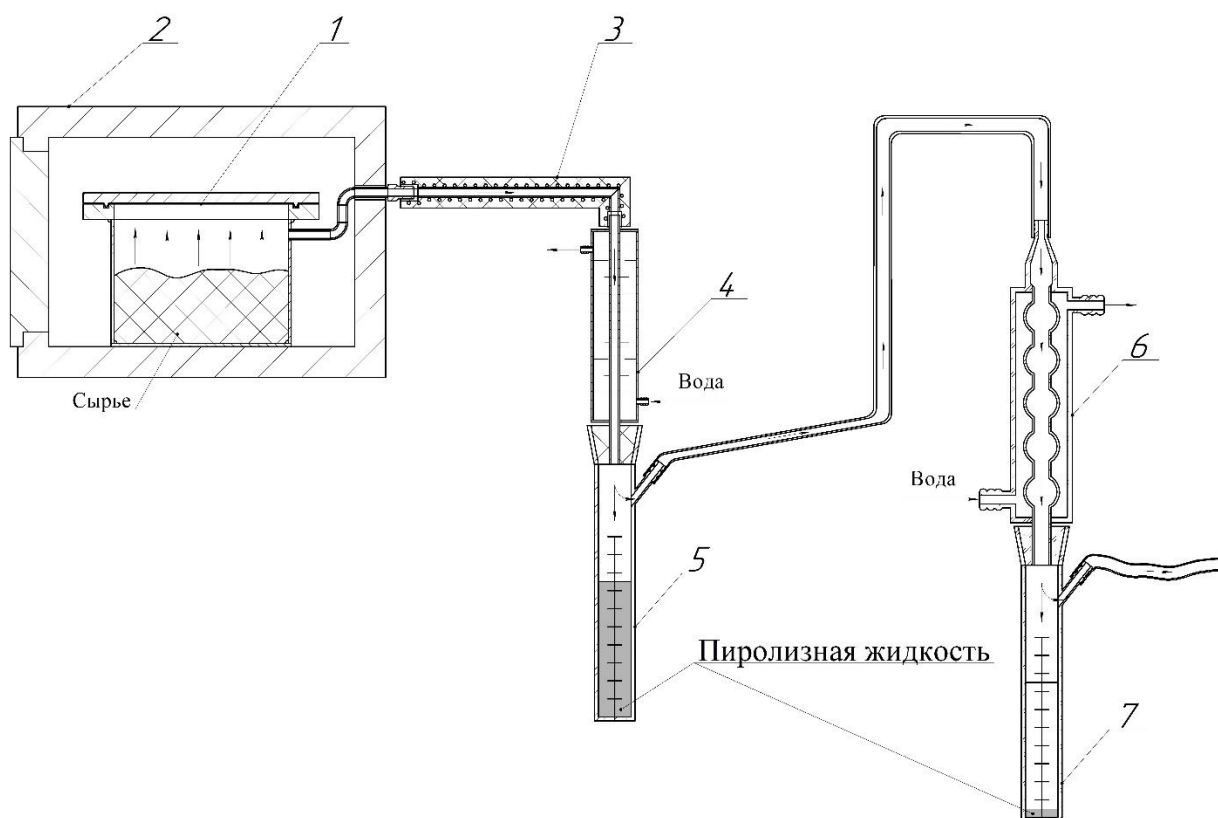


Рис. 2. Схема экспериментальной установки пиролиза: 1 — камера пиролиза; 2 — муфельная печь; 3 — подогреваемый патрубок; 4 — первый конденсатор; 5 — мерная колба; 6 — второй конденсатор; 7 — вторая мерная колба.

Fig. 2. Scheme of the experimental pyrolysis installation: 1, pyrolysis chamber; 2, muffle furnace; 3, heated pipe; 4, first condenser; 5, measuring flask; 6, second condenser; 7, second measuring flask.

Во время эксперимента по пиролизу фиксировались: температура, время, текущий объём пиролизной жидкости.

Полученные во время первого этапа жидкие продукты подвергались анализу на жидкостном хроматографе. Затем начинался второй этап исследования по сепарации жидких продуктов медленного пиролиза на отдельные фракции [11]. Исследование проводилось на экспериментальной установке сепарации с двумя конденсаторами, изображённой на рис. 3.

Процесс сепарации жидких продуктов медленного пиролиза на отдельные фракции

протекал за счёт разности температур кипения получаемых фракций [12].

Во время эксперимента по сепарации фиксировались: время, температура кипения, количество фракций дистиллята.

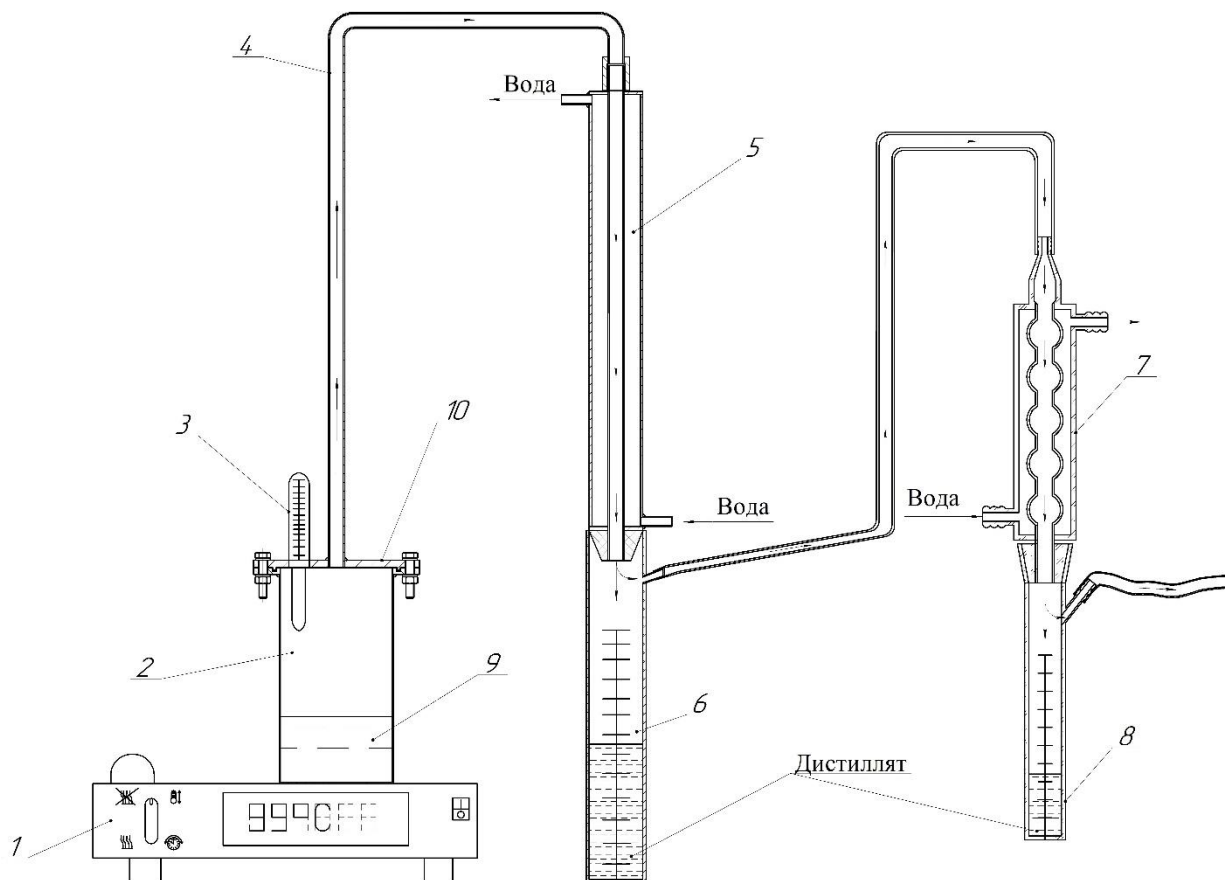


Рис. 3. Схема экспериментальной установки сепарации: 1 — нагревательная плита; 2 — емкость для исходного сырья; 3 — термометр; 4 — канал отвода паров; 5 — первый конденсатор; 6 — мерная колба; 7 — второй конденсатор; 8 — вторая мерная колба; 9 — пиролизная жидкость; 10 — крышка.

Fig. 3. Schematic diagram of the experimental separation installation: 1, heating plate; 2, container for the feedstock; 3, thermometer; 4, vapor removal channel; 5, first condenser; 6, measuring flask; 7, second condenser; 8, second measuring flask; 9, pyrolysis liquid; 10, lid.

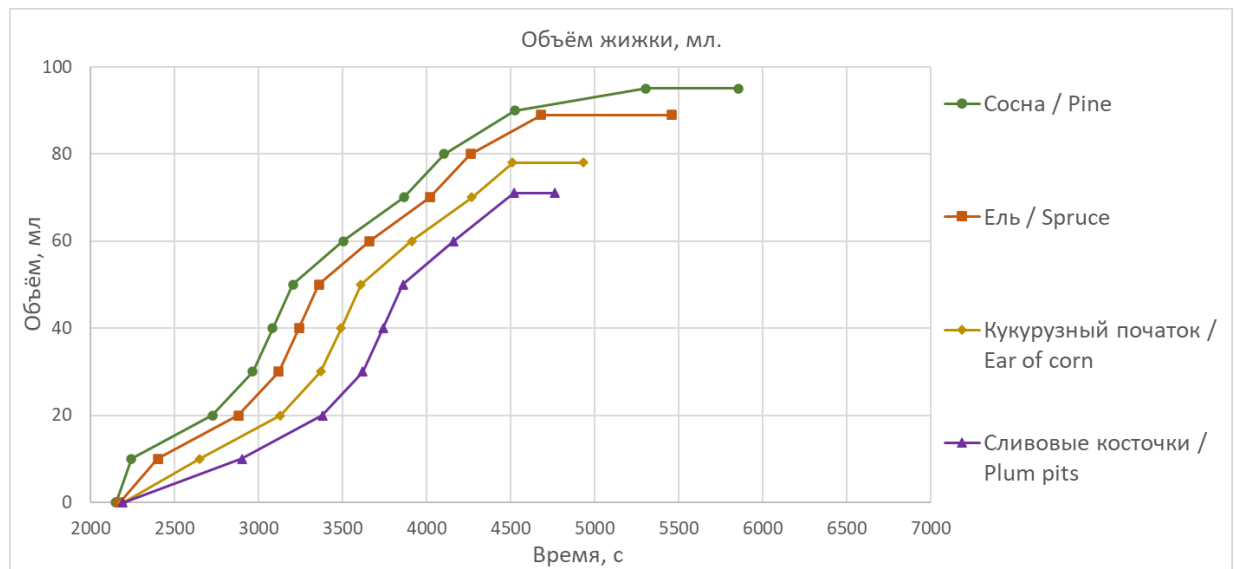
После эксперимента по сепарации проводился анализ жидкой фракции дистиллята на жидкостном хроматографе. [13–14].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

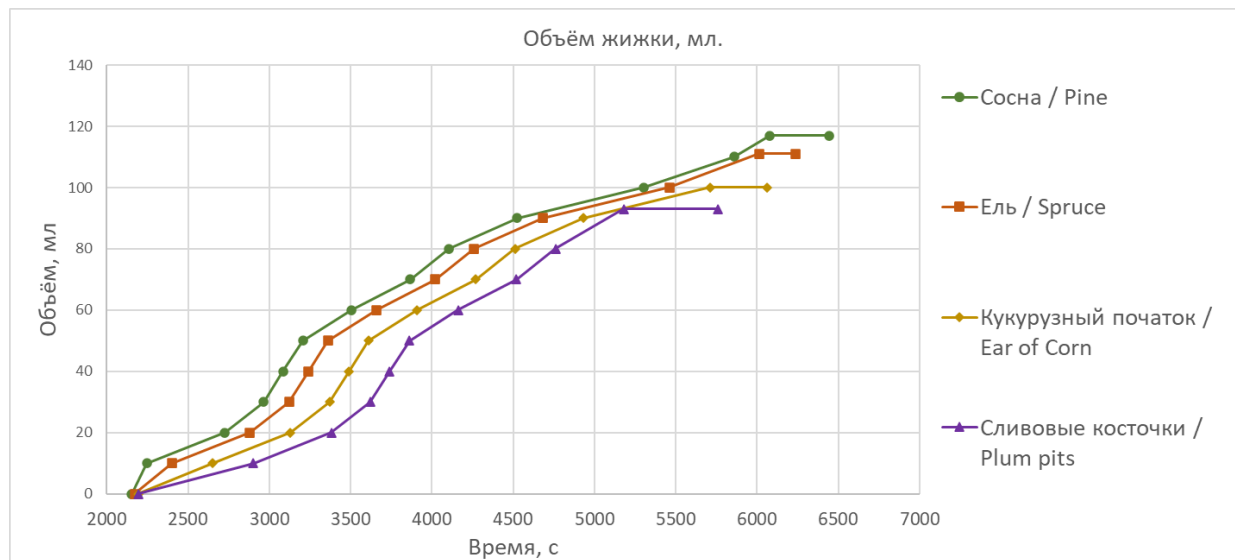
Результаты исследований по медленному пиролизу растительного сырья приведены на рис. 4.

Рассматривая кинетические зависимости, изображённые на рис. 4, можно отметить, что из четырёх видов растительного сырья, подвергнутых медленному пиролизу, больше всего пиролизной жидкости было получено из отходов лесопромышленного комплекса (ЛПК) (щепа: сосны и ели). Это обусловлено тем, что отходы ЛПК при термическом разложении выделяют большее количество легколетучих компонентов и тяжёлых смолистых соединений по сравнению с отходами агропромышленного комплекса (АПК) (кукурузный початок и сливовые косточки). Анализ кривых (а) и (б) показывает, что при использовании системы с двумя конденсаторами выход жидких продуктов медленного пиролиза увеличился на 19%.

После проведения пиролиза полученную пиролизную жидкость подвергали анализу на жидкостном хроматографе. Данные этого анализа приведены на рис. 5.



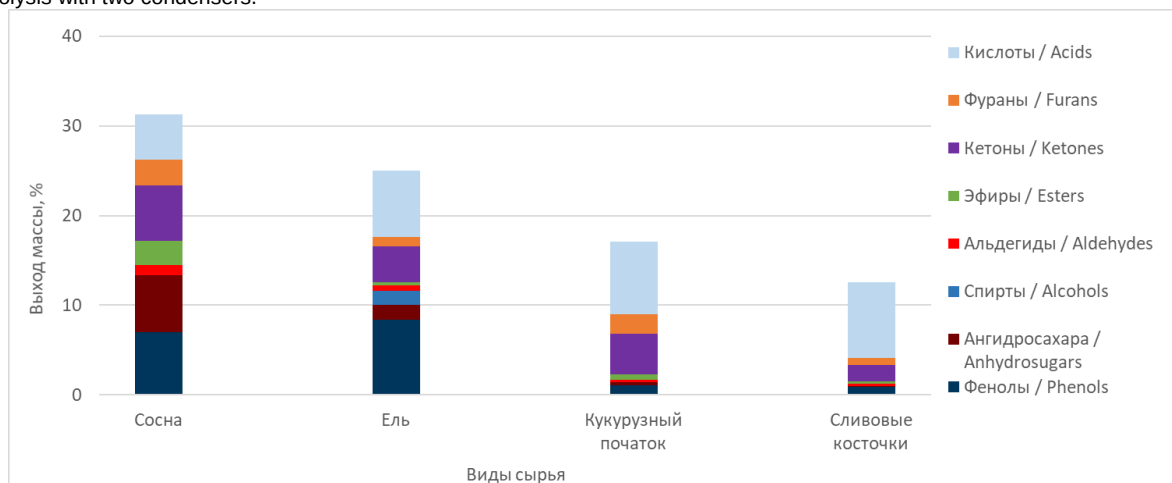
a)



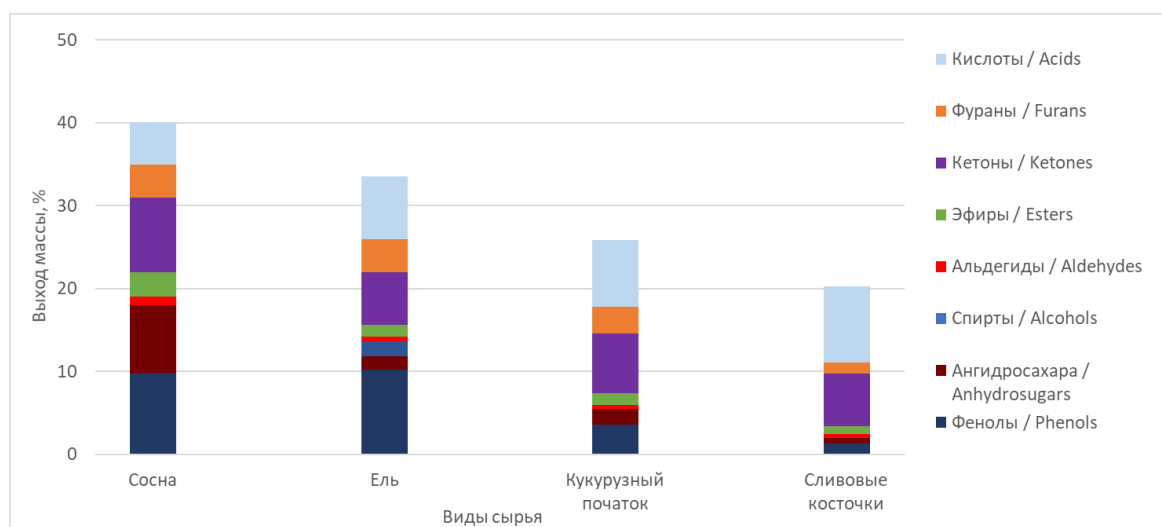
b)

Рис. 4. Кинетические зависимости объемного выхода конденсируемой пиролизной жидкости: а — при пиролизе с одним конденсатором; б — при пиролизе с двумя конденсаторами.

Fig. 4. Kinetic dependences of the volumetric yield of condensed pyrolysis liquid: a, during pyrolysis with one condenser; b, during pyrolysis with two condensers.



a)



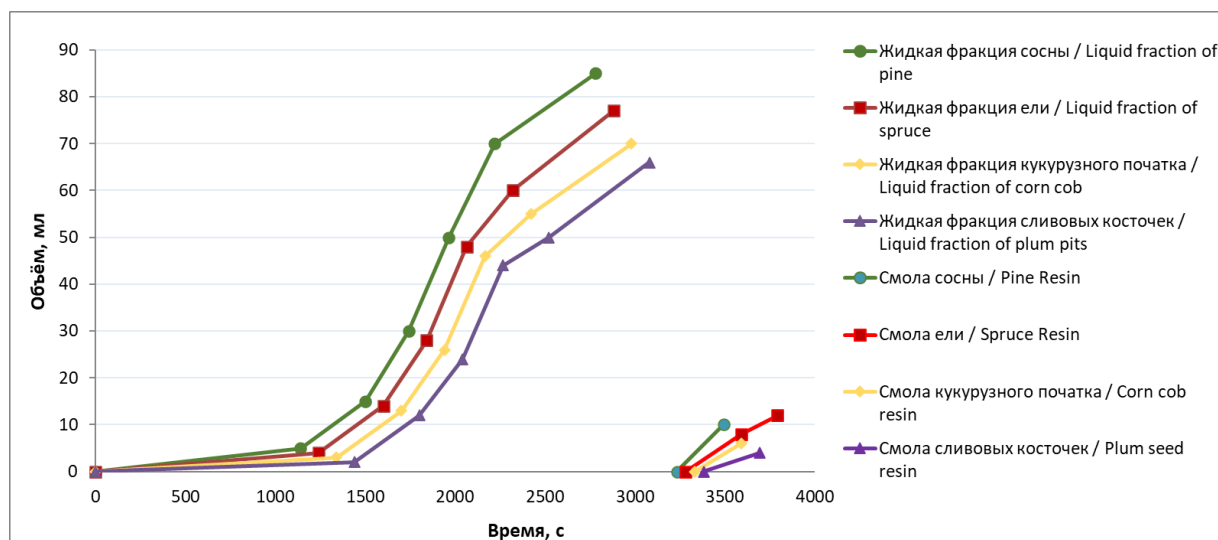
b)

Рис. 5. Химический состав жидких продуктов медленного пиролиза из различного сырья: а — при пиролизе с одним конденсатором; б — при пиролизе с двумя конденсаторами.

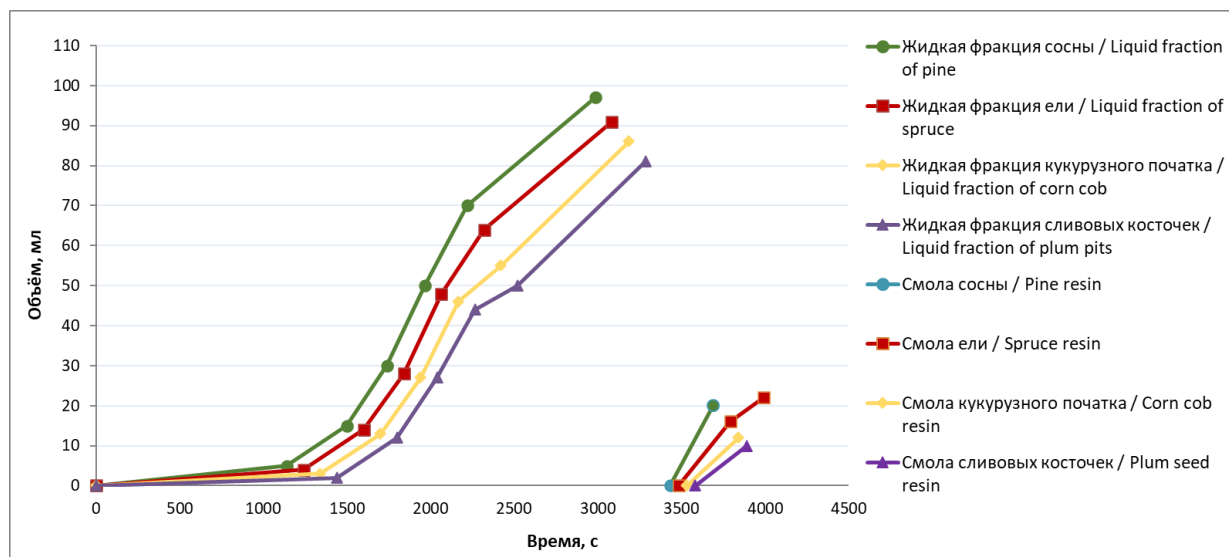
Fig. 5. Chemical composition of liquid products of slow pyrolysis from various raw materials: a, during pyrolysis with one condenser; b, during pyrolysis with two condensers.

Из гистограмм видно, что наибольшую долю составляют: кислоты, кетоны и фенолы. В отходах лесопромышленного комплекса преобладающим продуктом являются фенолы. Из отходов агропромышленного комплекса больше всего получают кислоты. Кетоны получают практически в равных значениях во всех образцах. Из щепы сосны получают большой выход ангидросахаров. После проведения анализа было обнаружено, что при использовании системы с двумя конденсаторами увеличился выход фенолов, фуранов, кетонов и эфиров, при этом было замечено, что вещества, полученные во втором конденсаторе более очищенные и имеют меньшее содержание сажи.

Полученные пиролизные жидкости подверглись процессу выпаривания, с целью разделения исходной пиролизной жидкости на отдельные компоненты. Результаты данных исследований приведены на рис. 6.



a)



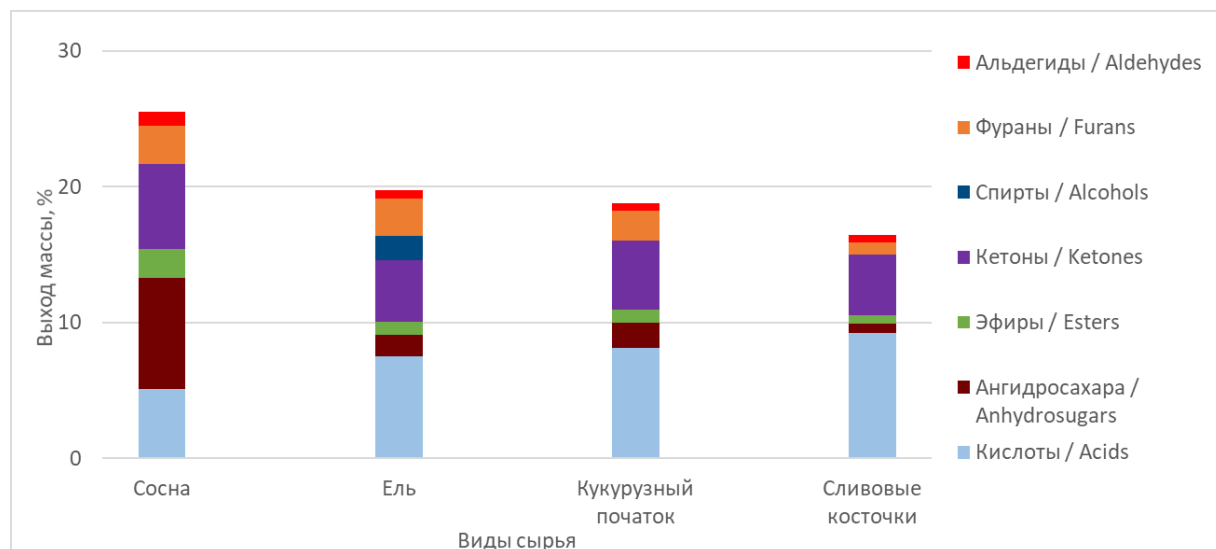
b)

Рис. 6. Кинетические зависимости объёмного выхода фракций пиролизного дистиллята: *a* — при сепарации с одним конденсатором; *b* — при сепарации с двумя конденсаторами.

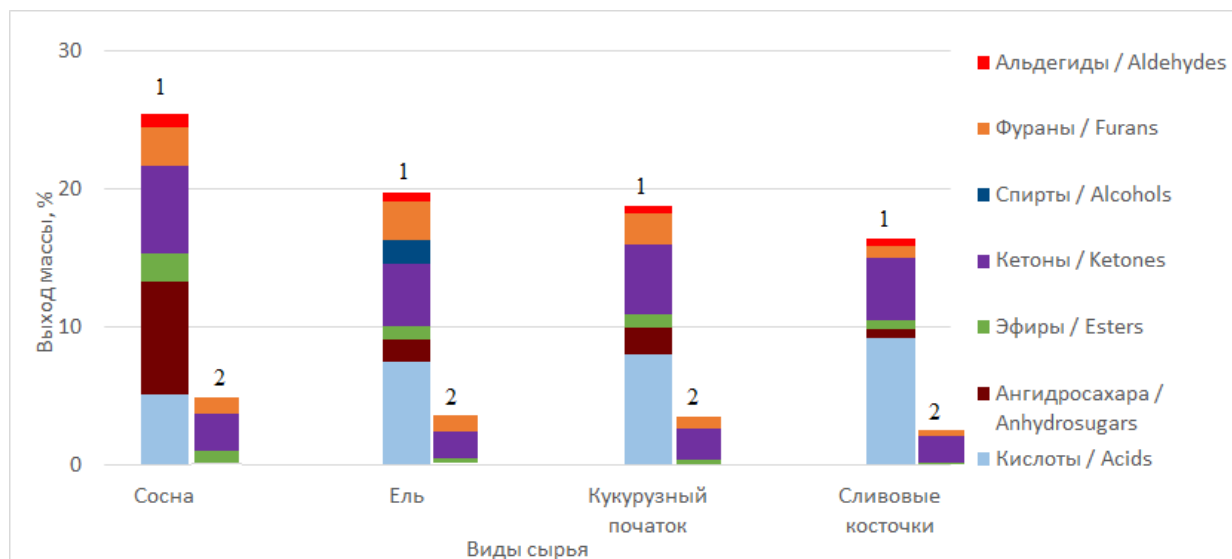
Fig. 6. Kinetic dependences of the volumetric yield of pyrolysis distillate fractions: *a*: during separation with one condenser; *b*: during separation with two condensers.

Анализ приведенных кинетических зависимостей, показывает, что при сепарации пиролизных жидкостей происходит разделение на жидкие фракции и смолистые соединения, то есть происходит отделение легколетучих компонентов от тяжёлых соединений, входящих в состав смолы.

После сепарации полученные жидкие фракции подвергали анализу на жидкостном хроматографе. Данные этого анализа приведены на рис. 7.



a)



b)

Рис. 7. Химический состав жидкой фракции дистиллята из различного сырья: а — при пиролизе с одним конденсатором; б — при пиролизе с двумя конденсаторами: 1 — первый конденсатор, 2 — второй конденсатор.

Fig. 7. Chemical composition of the liquid fraction of distillate from various raw materials: a, during pyrolysis with one condenser; b, during pyrolysis with two condensers: 1, first condenser; 2, second condenser.

Из гистограмм на рис. 7, б видно, что часть фуранов, кетонов и эфиров сконденсировалась во втором конденсаторе, это обусловлено тем, что данные вещества имеют более низкую температуру кипения по сравнению с остальными и из-за своего количества не успевают сконденсироваться в первом конденсаторе. Анализ гистограмм на рис. 7 показывает, что в жидкой фракции дистиллята отсутствуют фенолы. Из этого можно сделать вывод, что все фенолы являются частью смолистых соединений и были отделены во время сепарации. Негорючая часть компонентов пиролизной жидкости: кислоты может быть сепарирована за счёт разности температур их кипения или отстаиванием с последующей сепарацией с применением делительной воронки. В табл. 2 приведены данные по горючести, температуре кипения и плотности компонентов жидкой фракции пиролизного дистиллята.

Таблица 2. Температуры кипения компонентов пиролизного дистиллята

Table 2. Boiling temperatures of the components of pyrolysis distillate

Вещества	Горючесть	Температура кипения, °С	Плотность, г/см ³
Альдегиды	+	95-95,5	1,16
Фураны	+	95-96	1,16-1,29
Спирты	+	96	0,7918
Кетоны	+	95-98	1,059
Эфиры	+	96-98	1,056
Ангидросахара	+	97-98	1,304
Кислоты	-	101-103	1,0246

Анализ табл. 2 показывает, что жидкая фракция, полученная при температурах от 95-98 °С, обладает горючими свойствами и может применяться в производстве биотоплива.

Полученные в результате сепарации продукты жидкой фракции из первого конденсатора, к которым относятся: фураны, кетоны, эфиры, альдегиды, спирты, ангидросахара, — подвергли полному сжиганию, при этом образовался сажевый остаток. Значения его составили, соответственно, для щепы ели 7%, сосны 6%, кукурузного початка 3%, сливовой косточки 3% в долях от общей массы повторно конденсированного дистиллята. Очевидно, что данный вид топлива имеет потенциал для промышленного внедрения. Однако, учитывая столь высокие значения сажевого осадка, необходима дополнительная очистка и фильтрация полученных горючих продуктов. И модернизация горелочных устройств с целью минимизации сажевого остатка. Сжигание дистиллята

из второго конденсатора показало значительное снижение образования сажевого остатка, при этом значения разнились незначительно, в пределах $1,8 \pm 0,2\%$, для различных видов отходов. Таким образом введение второго конденсатора позволило снизить образование сажи в среднем в 2,5 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов исследований можно сделать заключение, что растительного сырья, подвергнутому медленному пиролизу, больше всего пиролизной жидкости было получено из отходов лесопромышленного комплекса. Это обусловлено тем, что отходы ЛПК при термическом разложении выделяют большее количество легколетучих компонентов и тяжёлых смолистых соединений по сравнению с отходами агропромышленного комплекса. Помимо этого, можно сделать вывод, что использование системы с двумя конденсаторами позволяет повысить эффективность выхода жидких продуктов медленного пиролиза на 19% за счёт доулавливания горючих компонентов. В результате доулавливания увеличилась доля фуранов, кетонов, эфиров, входящих в состав горючей фракции, благодаря чему появилась возможность эффективно утилизировать пиролизную жидкость путём её полного сжигания в виду увеличения горючести жидкости. Использование системы с двумя конденсаторами при процессе сепарации пиролизной жидкости позволило определить, что часть фуранов, кетонов и эфиров сконденсировалась во втором конденсаторе, это обусловлено тем, что данные вещества имеют более низкую температуру кипения по сравнению с остальными и из-за своего количества не успевают сконденсироваться в первом конденсаторе. Кроме того, было определено, что в жидкой фракции дистиллята отсутствуют фенолы. Исходя из этого, можно сделать вывод, что все фенолы являются частью смолистых соединений и были отделены во время сепарации. При проверке жидких фракций дистиллята из первого конденсатора на горение было выявлено образование сажевого остатка. Значения его составили для используемых в эксперименте видов растительного сырья, от 3% до 7% в долях от общей массы повторно конденсированного дистиллята. Введение второго конденсатора позволило снизить образование сажи в среднем в 2,5 раза.

Учитывая все вышеописанное, можно считать, что для получения жидкого биотоплива на основе жидких продуктов пиролиза лучше всего использовать древесные отходы сосны и ели, так как из них можно получить наибольшее количество жидких продуктов. Помимо этого, сосна и, в особенности, ель, лучше всего подходят для производства связующих или битумных вяжущих. Отходы АПК также можно использовать для производства жидкого биотоплива, но в меньшем количестве.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. В.Г. Сотников — обзор литературы, редактирование статьи, проведение исследований; Р.Г. Сафин — курация и консультирование исследований на протяжении всей работы; А.Н. Загиров — обзор литературы, написание основного текста статьи и её редактирование, проведение исследований и анализ их результатов; Д.А. Ахметова — консультирование по написанию статьи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Неприменимо.

Источники финансирования. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-26-00036, <https://rscf.ru/project/23-26-00036/>.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы использовали фрагменты ранее опубликованных собственных сведений (текст, иллюстрации, данные), отмеченные ссылками на источники в списке литературы.

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали один внешний рецензент, член

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: V.G. Sotnikov: literature review, manuscript editing, conducting research; R.G. Safin — research supervision and consulting throughout the work; A.N. Zagirov: literature review, writing and editing the main text of the manuscript, conducting research and results analysis; D.A. Akhmetova: support on writing the manuscript. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that issues related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: Not applicable.

Funding sources: The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 23-26-00036, <https://rscf.ru/project/23-26-00036/>.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously obtained or published material (text, images, or data) was used in this study or article.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review involved one external reviewer, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Lyu G, Wu S, Zhang H. Estimation and comparison of bio-oil components from different pyrolysis conditions. *Frontiers in Energy Research*. 2015;3:1–11. doi: 10.3389/fenrg.2015.00028
2. Safin RG, Sotnikov VG. *Pyrogenetic processing of plant waste into activated carbon*. Kazan: KNITU; 2022. (in Russ.) EDN: KMTICV
3. Oasmaa A, Elliott DC, Korhonen J. Acidity of Biomass FastPyrolysis Bio-oils. *Energy & Fuels*. 2010;24:6548–6554. doi: 10.1021/ef100935r EDN: OAYSHL
4. Huang X, Cheng D, Chen F, Zhan X. Reaction pathways of hemicellulose and mechanism of biomass pyrolysis in hydrogen plasma: A density functional theory study. *Renew Energy*. 2016;96:490–497. doi: 10.1016/j.renene.2016.04.080
5. Akwasi AB, Charles AM, Neil G, Kevin BH. Production of bio-oil from alfalfa stems by fluidized-bed fast pyrolysis. *Ind. Eng. Chem. Res*. 2008;47:4115–4122. doi: 10.1021/ie800096g
6. Safin RG, Sotnikov VG. Energy-saving installation for processing organic waste into fuel and adsorbents. *Russian Chemical Journal*. 2023;67(3):17–24. doi: 10.6060/rcj.2023673.3 (in Russ.) EDN: FFAIOC
7. Sotnikov VG, Zagirov AN, Guryanov DA, et al. Review of existing installations for the production of pyrolysis fuel. *Systems. Methods. Technologies*. 2023;(3):117–122. doi: 10.18324/2077-5415-2023-3-117-122 (in Russ.) EDN: UWOPWM
8. Goldfarb JL, Dou G, Salari M, Grinstaff MW. Biomass-based fuels and activated carbon electrode materials: An integrated approach to green energy systems. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2017;5:3046–3054. doi: 10.1021/acssuschemeng.6b02735
9. Safin RG, Sotnikov VG, Zagirov AN, Miftakhov RA. Processing of organic waste into pyrolysis fuel. *Systems. Methods. Technologies*. 2022;4:116–125. doi: 10.18324/2077-5415-2022-4-116-125 (in Russ.) EDN: UZPNDX
10. Safin RG, Sotnikov VG, Zagirov AN. Study of separation of pyrolysis gases at different moisture content of plant raw materials. *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*. 2023;(3):155–160. doi: 10.37670/2073-0853-2023-101-3-155-160 (in Russ.) EDN: WIBZVD
11. Zagirov AN, Sotnikov VG, Safin RG. *Current state of complex processing of liquid pyrolysis products*. Kazan: Shkola; 2024. (in Russ.) EDN: CWZQNE.

12. Lehman J, Joseph S. *Biochar for Environmental Management. Science and Technology*. Washington: Earthscan; 2009.
13. Safin RG, Sotnikov VG, Ziatdinov DF. *Installation for the Processing of Plant Waste into Activated Carbon Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2023:809–818.
14. Safin RG, Sotnikov VG, Ryabushkin DG, et al. Mixing condenser for the separation of pyrolysis gases. *Woodworking industry*. 2021;(4):45–55. (in Russ.) EDN: XIIIIN
15. Bridgwater AV. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass Bioenergy*. 2012;(38):68–94. doi: 10.1016/j.biombioe.2011.01.048

ОБ АВТОРАХ / AUTHORS' INFO

* Загиров Айдар Ниязович, аспирант кафедры «Переработка древесных материалов»; адрес: Россия, 420064, Казань, ул. Рауиса Гареева, д. 4; ORCID: 0000-0001-9804-4236; eLibrary SPIN: 9949-8030; e-mail: aidarzagirov98@mail.ru	* Aidar N. Zagirov, Postgraduate of the Wood Processing Department; address: 4 Rauisa Gareeva st, Kazan, Russia, 420064; ORCID: 0000-0001-9804-4236; eLibrary SPIN: 9949-8030; e-mail: aidarzagirov98@mail.ru
Соавторы:	Co-Authors:
Сотников Виктор Георгиевич, доцент кафедры «Переработка древесных материалов»; ORCID: 0000-0002-6202-5487; eLibrary SPIN: 1064-0539; e-mail: vcvcvc12345678@gmail.com	Viktor G. Sotnikov, Assistant professor of the Wood Processing Department; ORCID: 0000-0002-6202-5487; eLibrary SPIN: 1064-0539; e-mail: vcvcvc12345678@gmail.com
Сафин Рушан Гареевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Переработка древесных материалов»; ORCID: 0000-0002-5790-4532; eLibrary SPIN: 9071-4441; e-mail: safin@kstu.ru	Rushan G. Safin, Dr. Sc. (Engineering), professor, Head of the Wood Processing Department; ORCID: 0000-0002-5790-4532; eLibrary SPIN: 9071-4441; e-mail: safin@kstu.ru
Ахметова Дина Анасовна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Переработка древесных материалов»; ORCID: 0009-0008-4722-4542; eLibrary SPIN: 7782-0880; e-mail: pdm_d@list.ru	Dina A. Akhmetova, Cand. Sci. (Engineering), Assistant professor of the Wood Processing Department; ORCID: 0009-0008-4722-4542; eLibrary SPIN: 7782-0880; e-mail: pdm_d@list.ru
*Автор, ответственный за переписку/ Corresponding author	