

УДК 662.754

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ

Н.Ф. Тимербаев¹, А.В. Сафина², А.Р. Хабибуллина², И.Ю. Мазаров¹

¹Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

²Казанский национальный исследований технологический университет

Резюме: В статье рассмотрены свойства угля и область применения, развитие технологии производства древесного угля, также рассмотрена установка переработки древесных материалов ЛПК. Представлено описание технологии и аппаратное оформление процесса пиролиза древесных отходов в непрерывно-действующей вертикальной реторте.

Ключевые слова: пиролиз, древесные отходы, установка, древесный уголь, пиролизный газ, конденсация.

CONTEMPORARY STATE OF PRODUCTION OF WOOD COAL

N.F. Timerbaev, A.V. Safina, A.R. Khabibullina, I.Yu. Mazarov

"Kazan State Energy University" Kazan, Russia

"Kazan National Research Technological University", Kazan, Russia

Abstract: The article deals with the properties of coal and the field of application, the development of technology for the production of charcoal, and also the installation for the processing of timber materials of the timber industry. A description of the technology and instrumentation of the process of wood waste in a continuously operating vertical retort is presented.

Keywords. Pyrolysis, wood waste, installation, charcoal, pyrolysis gas, condensation.

На предприятиях лесопромышленного комплекса (ЛПК), даже на современных, образуется огромное количество древесных отходов, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду. К последнему представителю таких предприятий можно отнести российско-турецкое предприятие «Kastamonu», запущенное на территории ОЭЗ «Алабуга» в 2014. Менее чем за год эксплуатации данного предприятия на его территории скопилось большое количество древесных отходов. Одним из перспективных направлений является пирогенетическая переработка таких отходов в древесный уголь.

Древесный уголь является высокоуглеродистым материалом, имеющих широкое применение во многих отраслях промышленности и в быту [1]. Главные преимущества древесного угля заключаются в следующем:

- готовое топливо высокого качества, экологически чистое и безопасное;
- при горении не образует дыма и пламени, давая при этом требуемую температуру;
- высокая теплопроводная способность – 31000 кДж/кг;
- отсутствие каких-либо вредных веществ;
- неспособность к самовозгоранию;
- возможность использования для гриля, барбекю, каминов и открытых костров;
- изготовление сорбентов, адсорбентов.

В промышленности процессы адсорбции широко применяются при очистке и осушке газов, очистке и осветлении растворов, разделении смесей газов или паров, извлечении (рекуперации) летучих растворителей из их смеси с воздухом или другими газами и т.д. [6]. Основным показателем качества древесного угля является содержание нелетучего углерода.

[2]. При производстве древесного угля используется древесина трех групп:

- лиственные породы деревьев с твердой древесиной (береза, дуб, граб, бук, вяз);
- хвойные породы деревьев (ель, сосна, пихта);
- лиственные породы деревьев с мягкой древесиной (осина, липа, ива, ольха, тополь);

Древесный уголь из пород древесины по ГОСТ 24260-80 подразделяют на три марки в зависимости от сырья, используемого при производстве древесного угля:

- А - уголь, получаемый при пиролизе древесины пород 1 группы;
- Б - уголь, получаемый при пиролизе древесины смеси древесины 1 и 2 группы;
- В - уголь, получаемый посредством углежжения смеси древесины пород 1, 2, 3

группы.

При изготовлении древесного угля предпочтение отдается сырью из твердолиственных пород деревьев. Уголь из них получается плотный и прочный. Однако, в современных условиях уголь также изготавливают из отходов хвойных пород, из кустарниковых и осины. Из них тоже можно сделать хороший качественный уголь, если не отклоняться от отработанной технологии и брикетировать продукцию [2]. Из-за того, что существуют различные сырье и технологии изготовления, в результате обработки получается несколько разновидностей древесного угля. Например, существует сорт топлива для грилей и каминов, называемый «красный уголь». Его производят путем мягкого углежжения при невысокой температуре. В Японии популярен «белый уголь», его выжигают из дальневосточного белого дуба.

Важным условием получения качественного древесного угля является соблюдение тонкостей технологии производства. Она довольно проста, но если пренебречь ее условиями, то уголь получится мелким, трещиноватым, недожженным, на выходе его будет меньше. Массовый выход угля от массы исходной древесины представлен в табл. 1.

Таблица 1

Массовый выход			
Наименование образца	m -масса древесины, г	m_1 -масса угля, г	Массовый выход угля, %
Береза	31,0486	8,3081	26,76
Липа	33,7938	7,061	20,89
Осина	32,4903	7,5695	23,3

По выходу угля древесина осины и липы незначительно уступают древесине берез.

Для определения степени соответствия угля, полученного из древесины исследуемых пород, показателям стандарта были проведены анализы зольности, массовой доли нелетучего углерода и летучих веществ. Зольность определялась в результате сгорания древесного угля, полученного из различных частей ствола древесины, в муфельных печах при температуре 900⁰С в течение 2,5 часов [3÷5].

Нелетучим углеродом называется твердый углеродный остаток, образующийся в результате прокаливании угля при температуре 850⁰С в течение 7 минут. Метод показывает содержание в угле наиболее ценной углеродной его части, которая в условиях повышенной температуры не улетучивается и почти целиком участвует в реакциях [3÷7].

Зная зольность угля и определив в результате нагревания древесного угля (без доступа воздуха в муфельных печах при температуре 900⁰С в течение 7 минут) массовую

долю летучих веществ, содержание нелетучего углерода $C_{\text{нел}}$, % определялось по уравнению

$$C_{\text{нел}} = 100 - (A_1 + A_2),$$

где A_1 – содержание летучих веществ, включая влагу, %; A_2 – зольность угля, % [3÷6].

Результаты химического анализа древесных углей приведены в табл. 2.

Таблица 2

Наименование показателя	Результаты анализа древесных углей				
	Анализ угля				
	Влажность, %	Массовая доля летучих веществ, %	Массовая доля золы, %	Массовая доля нелетучего углерода, %	Сорбционная активность угля, м ² /г
Береза	4,7	4,11	2,89	88,3	1250
Липа	4,75	8,2	1,55	85,5	1230
Осина	6,01	12,54	1,95	79,5	1210

Основываясь на данных по массовой доле нелетучего углерода и по массовой доле золы, полученных в ходе исследований, можно сделать вывод, что древесный уголь, полученный из древесины липы, по показателям стандарта максимально приближен к показателям угля березы, который был взят как образец стандартного сырья для пиролиза, и может быть использован для выпуска качественных древесно-угольных брикетов.

Для производства древесного угля используются углевыжигательные печи. Существует несколько конструкций печей, применяемых для этой цели. Самые распространенные из них: камерная печь, стационарная вертикальная реторта, выемная вертикальная реторта, шахтная печь системы Ламбиотт, реторта с нагревом теплотой экзотермической реакции [6].

На кафедре переработки древесных материалов (ПДМ) проводятся исследования по пиролизу древесины с начала 2004 г. [6÷14]. Целью исследований была оптимальная переработка отходов деревообработки в древесный уголь. В результате была создана углевыжигательная печь. Исследования показали, что пиролизная переработка позволяет не только получить ценные продукты, но и утилизировать древесные отходы, включающие в себя токсичные вещества [8]. При этом вопрос сепарации жидких продуктов пиролиза занимает особое место, т.к. при прохождении пирогазов они частично могут сконденсироваться с последующей полимеризацией на внутренней поверхности трубопровода. Для предотвращения данных явлений установка пиролиза должна иметь хорошую теплоизоляцию и специальную конструкцию конденсатора.

Пиролиз древесины включает в себя ряд взаимосвязанных процессов нагрева, сушки, термической деструкции высокомолекулярных соединений, состоящих из множества параллельно протекающих элементарных взаимодействий. При этом вначале протекают эндотермические процессы со значительным потреблением тепловой энергии, а затем – экзотермические процессы: экзотермические реакции, процессы конденсации, охлаждение продуктов реакций [6÷15].

При переработке древесных отходов в виде щепы рекомендуется установка шахтного типа [15÷18], в которой с помощью теплового насоса тепло передается из зоны охлаждения древесного угля в зону нагрева технологической щепы.

Для получения активированного древесного угля на кафедре ПДМ была разработана установка (рис.1), представляющая собой вертикальную реторту непрерывного действия 1, которая имеет зону накопления перерабатываемого сырья 2, зону сушки 3 с патрубками вывода 4 и ввода 5 теплоносителя, зону пиролиза 6, зону активирования древесного угля 7,

зону охлаждения 8, зону накопления древесного угля 9 с патрубками подвода 10 и отвода воздуха 11. Установка также имеет дозирующий загрузчик сырья 12, выгрузчик угля 13; при этом зона сушки 3 через зону накопления перерабатываемого сырья 2 связана с зоной охлаждения 8 через конденсатор 14; зона сушки 3 снабжена патрубком подачи топочных газов 15. Зоны пиролиза 6 и охлаждения 8 соединены между собой тепловой трубой 16. Зона пиролиза 6 оснащена патрубком вывода пиролизных газов 17 и соединена через трубопровод с эжектором 18. Эжектор соединен с разделительным аппаратом 19 и имеет зону накопления жижки 20, которая оборудована насосом для циркуляции жижки 21, а разделительный аппарат 19 снабжен патрубком для вывода несконденсировавшейся парогазовой смеси 22 и регулятором температуры жижки 23. Установка имеет также рекуперативный теплообменник 24, воздуходувку 25, дымосос 26, дымовую трубу 27, регулятор температуры топочных газов 28, топку 29, которая имеет патрубок вывода топочных газов 30, и эжекционный смеситель неконденсирующихся газов и воздуха 31.

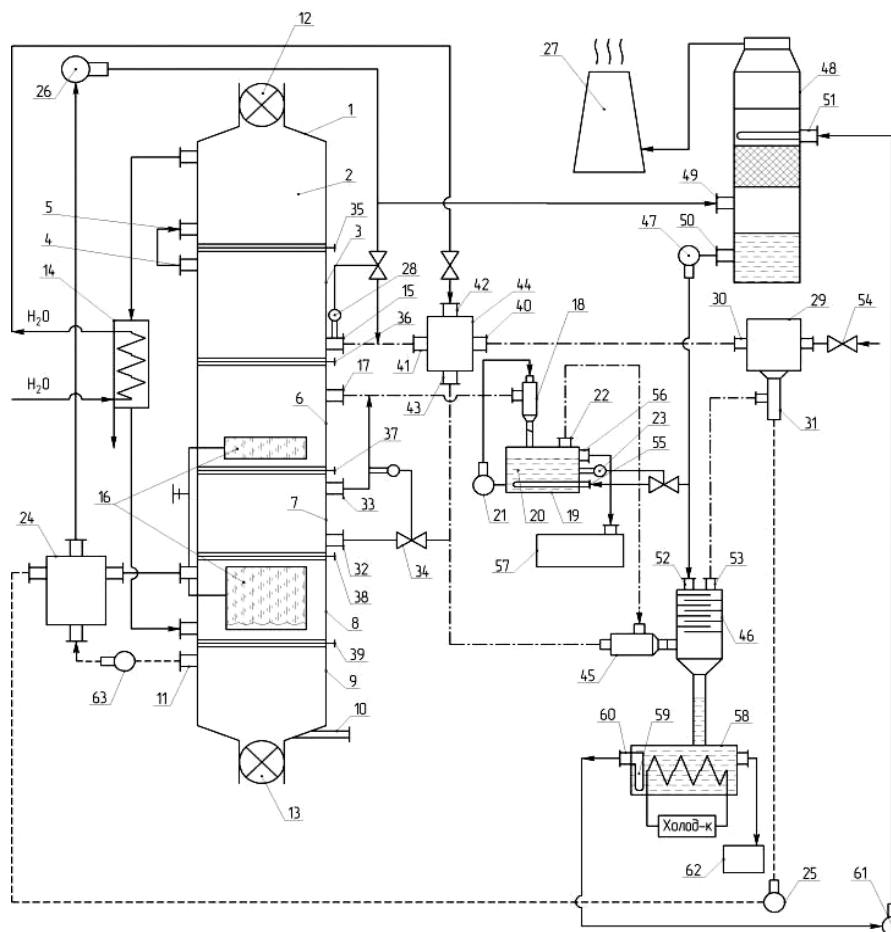


Рис. 1. Установка для производства древесного угля

Реторта 1 имеет зону активирования древесного угля 7, которая снабжена патрубком ввода перегретого пара 32 и патрубком вывода образующейся парогазовой смеси 33 и регулятором состава парогазовой смеси 34, при этом зоны накопления перерабатываемого сырья 2, сушки 3, пиролиза 6, активирования 7, охлаждения 8 и накопления древесного угля 9 изолированы друг от друга шибберными заслонками 35, 36, 37, 38, 39. Установка также имеет парогенератор 44, эжекционный насос 45 сообщается с барометрическим конденсатором 46, последний соединен через насос рециркуляции абсорбента 47 с

насадочным абсорбером 48. Барометрический конденсатор снабжен патрубком ввода хладагента 52 и патрубком вывода неконденсирующихся газов 53. Топка 29 имеет вентиль 54 для подачи природного газа.

Установка для производства древесного угля работает следующим образом. В вертикальную реторту 1 через дозирующий загрузчик 12 в зону накопления перерабатываемого сырья 2 подают технологическое сырье (измельченные древесные отходы). После загрузки открывается шиберная заслонка 35 и содержимое подается в зону сушки 3, где оно сушится и прогревается до 250°C за счет подачи топочных газов через патрубок 15. Затем в парогенератор 44 подают воду, а содержимое зоны сушки 3 переходит в зону пиролиза 6, где за счет тепловой трубы 16 технологическая щепка в нижней части пиролизной зоны прогревается до 350°C (до начала экзотермической реакции) и начинается пиролиз с выделением пиролизных газов, которые через патрубок 17 и трубопровод поступают в эжектор 18. Температура сырья в зоне пиролиза возрастает до 500°C за счет тепла, выделяющегося в процессе экзотермических реакций. В зоне пиролиза 6 происходит выделение пиролизных газов и образование угля. Для отвода образовавшихся пиролизных газов из зоны пиролиза 6 в разделительный аппарат 19 используют жижку, которую предварительно охлаждают до 100°C и нагнетают насосом для циркуляции жижки 21 в эжектор 18 из зоны накопления жижки 20. Разделительный аппарат снабжен патрубком для вывода несконденсировавшейся парогазовой смеси 22 и регулятором температуры жижки 23. Избыток жижки из разделительного аппарата 19 переливается через патрубок 56 в резервуар 57, в котором собирается жижка, представляющая собой смесь только высококипящих компонентов с температурой кипения более 100°C. Несконденсировавшиеся парогазовые смеси отводят эжекционным насосом 45 и вторично сепарируют в барометрическом конденсаторе 46 на газы и конденсат, состоящий, в основном, из низкокипящих компонентов и воды. Из барометрического конденсатора 46 неконденсирующиеся газы отводятся эжекционным смесителем 31 в топку 29, а конденсат поступает в холодильник-сепаратор 58, где сепарируется на низкокипящие компоненты и воду. Образовавшийся в зоне пиролиза 6 уголь через шиберную заслонку 37 поступает в зону активирования 7, снабженную регулятором состава парогазовой смеси 34. При активировании древесного угля перегретым паром начинается его газификация, поэтому при превышении концентрации окиси углерода или метана выше заданных предельных значений регулятором 34 прекращается подача окислителя – пара, и процесс активирования завершается. Древесный уголь поступает в зону охлаждения 8, где охлаждается до 150°C за счет отдачи тепла отработанным топочным газам, поступающим из конденсатора 14, и тепловой трубе 16, которая, в свою очередь, дополнительно нагревает технологическое сырье в зоне пиролиза 6.

Топочные газы, проходя через зону охлаждения 8, нагреваются до 400°C и направляются в рекуперативный теплообменник 24, где охлаждаются до 150°C. Часть охлажденных газов направляется дымососом 26 в дымовую трубу 27 через насадочный абсорбер 48, другая часть поступает на рециркуляцию в зону сушки 3.

Из зоны охлаждения 8 через шиберную заслонку 39 уголь попадает в зону накопления 9, где дополнительно охлаждается за счет отдачи тепла воздуху, подаваемому через патрубки подвода 10, и отвода воздуха 11 в рекуперативный теплообменник 24 воздуходувкой 63. Воздух в рекуперативном теплообменнике прогревается до 350°C и воздуходувкой 25 нагнетается в топку 29. Уголь непрерывно выгружается через дозирующий выгрузчик 13. Для первоначального запуска установки через вентиль 54 в топку 29 подают природный газ. С началом подачи парогазов из разделительного аппарата 19 в установку подачу природного газа через вентиль 54 прекращают. Передача продукта из одной зоны в другую с помощью шиберных заслонок 35, 36, 37, 38, 39 исключает возможность образования сводов в вертикальной реторте и повышает, тем самым, надежность работы установки. После зоны активирования 7 возрастает свободная

поверхность древесного угля до $600\div 900\text{ м}^2/\text{г}$, в результате чего возрастает сорбционная активность готового продукта. Объемное охлаждение жижки за счет вакуумирования и орошения водой позволяет легко поддерживать требуемую температуру эжектирующей жижки, подаваемой насосом 21, и сепарировать паровую фазу пирогазов на смесь высококипящих и низкокипящих компонентов.

Данная установка для производства древесного угля позволяет повысить качество древесного угля, за счет повышения сорбционной активности, а также надежность организации процесса переработки измельченных древесных отходов и эффективность работы установки, за счет использования энергии топочных газов для активирования древесного угля и сепарации жижки на обезвоженные смеси высококипящих и низкокипящих компонентов. Предварительная сепарация жижки на обезвоженные смеси высококипящих и низкокипящих компонентов позволяет сократить затраты на последующую переработку жижки с целью извлечения из нее уксусной кислоты, березового дегтя, растворимых и нерастворимых кислот, жидких горючих веществ более высокой калорийности [18].

Термическая переработка древесных отходов в описанной установке позволяет решить не только экологическую проблему многих предприятий лесопромышленного комплекса, но и получить высококачественные продукты лесохимии.

Литература

1. Бронзов Ю.В., Уткин Г.К., Кислицын А.Н. и др. Древесный уголь. Получение, основные свойства и области применения древесного угля. М.: Лесная промышленность, 1979. 137 с.
2. ГОСТ 24260-80 «Сырье для пиролиза и углежжения».
3. ГОСТ 12596-67 «Угли активные. Метод определения массовой доли золы».
4. ГОСТ 11022-95 «Топливо твердое минеральное. Метод определения зольности».
5. ГОСТ 6382-2001 «Топливо твердое минеральное. Метод определения выхода летучих веществ».
6. Сафин Р.Г. Технологические процессы и оборудование деревообрабатывающих производств. М.:2002. С.659–663.
7. Сафин Р.Г., Сафин Р.Р., Валеев И.А. Пиролизная установка для переработки древесных отходов / «ММТТ-17», г. Кострома. 2004. Т.9. С. 135.
8. Сафин Р.Г., Сафин Р.Р., Валеев И.А. Экспериментальное исследование влияния давления при пиролизе древесины // Вестник Казанского технологического университета. 2005. №1. С. 256–260.
9. Тимербаев Н.Ф., Сафин Р.Г., Хуснуллин И.И. Моделирование процесса пиролиза древесины в установке для производства древесного угля. // Вестник Казанского технологического университета. 2011. №9. С. 51–56.
10. Пат. №2256686 РФ. Углевыхигательная печь / Сафин Р.Г., Сафин Р.Р., Валеев И.А. и др. 2005. Бюл. № 18.
11. Грачев А.Н., Исаков Т.Д., Валеев И.А., Иманаев Р.М. Пиролиз отходов предприятий деревообрабатывающей отрасли // Вестник Казанского технологического университета. 2006. №6. ЧП. С.71–77.
12. Пат. № 2346023 РФ, МПК C10B53/02, F23G027. Установка для пиролиза древесины./ Грачев А.Н., Исаков Т.Д., Сафин Р.Г., Валеев И.А., Воронин А.Е. Заявитель и патентообладатель – Научно-технический центр по разработке прогрессивного оборудования. 2009. Бюл. № 4.
13. Сафин Р.Г., Тимербаев Н.Ф., Сафин Р.Р., Хуснуллин И.И. Современное состояние процесса пирогазетической переработки органических веществ // Вестник Казанского технологического университета. 2011. №18. С. 201–205.
14. Сафин Р.Г., Сафин, Р.Р. Перспективы развития лесопромышленного комплекса РТ на базе научных разработок кафедр лесотехнического профиля КНИТУ // Деревообрабатывающая промышленность. 2012. №3. С. 22–27.

15. Сафин Р.Г., Садртдинов А.Р., Хуснуллин И.И. Энергонезависимая установка непрерывной переработки древесных отходов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 3. С. 181–182.

16. Пат. № 2463331 РФ, МПК C10B53/02. Способ производства древесного угля / Тимербаев Н.Ф., Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., и др. 2012. Бюл №28.

17. Пат. № 2568061 РФ, МПК C10B1/04. Установка для производства древесного угля / Тимербаев Н.Ф., Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., и др. Бюл №33. 2012.

18. Сафин Р.Г., Зиятдинов Р.Р., Сафина А.В., Хабибуллина А.Р. Пиролизная переработка отходов лесопромышленного комплекса в древесный уголь // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.17, №20. С.131–134.

Авторы публикации

Тимербаев Наиль Фарирович – докт. техн. наук., профессор кафедры «Инженерная экология и рациональное природопользование» (ИЭР), директор научного центра «Центр перспективных энерготехнологий» Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: crekgeu@gmail.com.

Сафина Альбина Валерьевна – к.т.н., доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины» Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ). E-mail: safin@kstu.ru.

Хабибуллина Альмира Режеповна – аспирант кафедры «Переработка древесных материалов» (ДПМ) Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ). E-mail: almira-h@rambler.ru.

Мазаров Иван Юрьевич – инженер научного центра «Центр перспективных энерготехнологий» Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: ivanmazarov92@mail.ru.

References

1. Bronzov Yu.V., Utkin G.K., Kislitsyn A.N. And others. Charcoal. Obtaining, basic properties and applications of charcoal. М.: Forest Industry, 1979. 137 p.
2. GOST 24260-80. Raw materials for pyrolysis and carbonation.
3. GOST 12596-67. Coals are active. Method for determining the mass fraction of ashes.
4. GOST 11022-95. Solid mineral fuel. Method for determination of ash content.
5. GOST 6382-2001. Solid mineral fuel. Method for determining the yield of volatile substances.
6. Safin R.G. Technological processes and equipment of woodworking industries. М.: 2002. P.659-663
7. Safin R.G., Safin R.R., Valeev I.A. Pyrolysis plant for the processing of wood waste. ММТТ-17. City of Kostroma. 2004. Т.9. 135.
8. Safin R.G., Safin R.R., Valeev I.A. Experimental study of the effect of pressure on pyrolysis of wood. Bulletin of Kazan Technological University. №1. 2005. pp. 256-260.
9. Timerbaev N.F., Safin R.G., Khusnullin I.I. Modeling the process of pyrolysis of wood in a plant for the production of charcoal. Bulletin of the Kazan Technological University. 2011. № 9. Pp. 51-56.
10. The patent of the Russian Federation №2256686. Coal-burning furnace. Safin R.G., Safin R.R., Valeev I.A. And others. № 18. 2005.
11. Grachev A.N., Iskhakov T.D., Valeev I.A., Imanayev R.M. Pyrolysis waste of woodworking enterprises. Bulletin of Kazan State Technological University. 2006. № 6. P.71-77

12. Patent № 2346023, IPC C10B53 / 02, F23G027. Installation for pyrolysis of wood. Grachev A.N., Iskhakov T.D., Safin R.G., Valeyev I.A., Voronin A.E. Applicant and patent holder Scientific and technical center for the development of progressive equipment. Bul. № 4. 2009.

13. Safin R.G., Timerbaev N.F., Safin R.R., Khusnullin I.I. The current state of the process of pyrogenetic processing of organic substances. Bulletin of the Kazan Technological University. 2011. № 18. P. 201-205

14. Safin R.G., Safin R.R. Prospects for the development of the timber industry complex of the Republic of Tatarstan on the basis of scientific developments of the forestry profile departments of KNITU. Woodworking industry. 2012. № 3. P. 22-27.

15. Safin R.G., Sadretdinov A.R., Khusnullin I.I. Energy-independent plant for the continuous processing of wood waste. Bulletin of the Kazan Technological University. 2013. № 3. P. 181-182.

16. The patent of the Russian Federation № 2463331. MIIK C10B53 / 02. Method of production of charcoal. Timerbaev N.F., Ziatdinova D.F., Safin R.R., Safin R.G., and others. Bulletin №28. 2012.

17. The patent of the Russian Federation № 2568061, MIIK C10B1 / 04 The installation for the production of charcoal Timerbaev N.F., Ziatdinova D.F., Safin R.G. and others. Bulletin №33. 2012.

18. Safin R.G., Ziatdinov R.R., Safina A.V., Khabibullina A.R. Pyrolysis waste processing of the timber industry complex into charcoal. Bulletin of Kazan State Technological University. 2014. № 20-T.17. P.131-134.

Authors of publication

Timerbaev Nail Farilovich – Professor of the Department of Engineering ecology and environmental management, director of Research Center "Center for Advanced Energy Technologies", Kazan State Power Engineering University (KSPEU), E-mail: cpekgeu@gmail.com.

Safina Albina Valereevna – Ph.D., Associate Professor, Department of Architecture and Design Wood, Kazan State Technological University (KNRTU), E-mail: safin@kstu.ru.

Habibullina Almira Rezhepovna – graduate student of the processing of wood materials, Kazan State Technological University (KNRTU), E-mail: almira-h@rambler.ru.

Mazarov Ivan Yurevich – Engineer Research Center "Center for Advanced Energy Technologies", Kazan State Power Engineering University (KSPEU), E-mail: ivanmazarov92@mail.ru.

Поступила в редакцию

27 марта 2017 г.