

УТИЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ

Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, М.Р. Хайруллина, С.В. Китаев, Э.Р. Хайруллина

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

safin@kstu.ru

Утилизация отработанных деревянных шпал является актуальной задачей с точки зрения охраны окружающей среды, так как при изготовлении в целях увеличения срока службы их пропитывают антисептическими средствами, которые содержат органические соединения, обладающие высокой летучестью, токсичными, канцерогенными свойствами. В большинстве случаев изъятые из железнодорожных путей деревянные шпалы оказываются загрязненными нефтепродуктами во время эксплуатации. Возможно также присутствие в отработанных деревянных шпалах металлических включений, не извлеченных при демонтаже. Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов, отработанные древесные шпалы — это готовые изделия, потерявшие свои потребительские свойства, относящиеся к твердым органическим отходам третьего класса экологической опасности. Официально разрешенные методы утилизации отработанных деревянных шпал: захоронение, использование в композиционных и строительных материалах, физико-химические и термические методы (сжигание, газификация, пиролиз). Наиболее эффективным термическим методом утилизации является пиролиз, который позволяет не только ликвидировать и обезвреживать отходы, но и регенерировать энергию и новые материалы. На базе кафедры переработки древесных материалов КНИТУ разработан способ термической переработки органосодержащего сырья, который может быть использован при утилизации отработанных деревянных шпал. Предлагаемый способ и установка для его осуществления позволяют экологически чисто перерабатывать отработанные деревянные шпалы с получением жидкого продукта для пропитки новых деревянных шпал, угольных брикетов из мелкодисперсного угля и несконденсированного пиролизного газа, используемого для получения тепловой энергии и необходимого для осуществления технологического процесса.

Ключевые слова: железнодорожная отрасль, деревянные шпалы, пиролиз, экологически чистые технологии

Ссылка для цитирования: Утилизация отработанных деревянных шпал / Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, М.Р. Хайруллина, С.В. Китаев, Э.Р. Хайруллина // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 70–75. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-70-75

Железнодорожная отрасль — одна из хорошо развитых отраслей народного хозяйства России. В процессе хозяйственной деятельности структурных подразделений ОАО «Российские железные дороги» образуется порядка 600 наименований отходов, часть из которых специфична для этой отрасли. Отходы железнодорожного транспорта могут быть загрязнены нефтепродуктами, содержать различные органические соединения, а также тяжелые металлы и ртуть.

Опасные отходы железнодорожной отрасли 1-го и 2-го класса передаются для обезвреживания специализированным сторонним организациям. Отходы 4-го и 5-го классов как практически неопасные не создают для ОАО «РЖД» больших проблем по вторичному использованию и захоронению. Основные проблемы возникают при работе с отходами 3-го класса опасности, для утилизации которых требуются экологически чистые технологии. При этом процесс утилизации может не только замыкать жизненный цикл продукта, но и послужить созданию альтернативных источников энергии и сырья.

Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов, отработанные древесные шпалы — это готовые изделия, потерявшие свои потребительские свойства (код 1712060013013),

относящиеся к твердым органическим отходам 3-го класса экологической опасности [1].

Ежегодно после ремонта железнодорожных путей скапливается около двух миллионов деревянных шпал, отслуживших свой срок, а решений об их утилизации пока нет [2]. Нередко отработанные деревянные шпалы (ОДШ) складывают на территории предприятий путевого хозяйства или оставляют разбросанными вдоль железнодорожных путей. Законодательством Российской Федерации за несанкционированно размещенные отходы в местах, не предусмотренных для их хранения, предусмотрена строгая административная ответственность, а также штрафы и санкции.

В связи с этим проблема эффективной и экономически целесообразной утилизации шпал различных типов приобретает актуальный характер.

Существуют следующие методы утилизации отработанных деревянных шпал (рис. 1): захоронение, использование в композиционных и строительных материалах, физико-химические и термические методы (сжигание, газификация и пиролиз) [3].

Шпалы, вышедшие из эксплуатации, подлежат захоронению на специально оборудованных

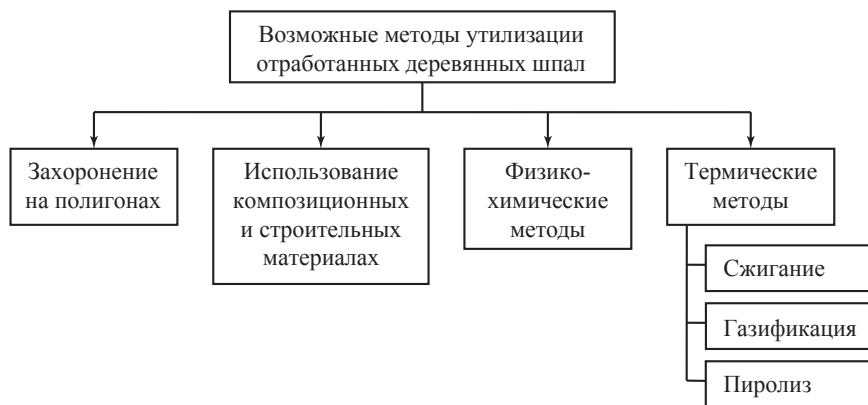


Рис. 1. Методы утилизации оработанных деревянных шпал
 Fig. 1. Methods of utilization of used wooden sleepers

полигонах промышленных отходов. Однако из-за переполненности полигонов накапливают и складывают ОДШ в местах, не предусмотренных для хранения отходов 3-го класса опасности, в результате чего происходит вымывание токсичных и вредных веществ в окружающую среду, а это приводит к обострению экологической ситуации.

Использование ОДШ в качестве композиционных и строительных материалов требует полной нейтрализации или изоляции токсичных компонентов каменноугольного масла, в противном случае выделение токсичных соединений приведет ко вторичному загрязнению окружающей среды.

Методы и исследования

Физико-химические методы утилизации осуществляют совместно с другими методами. Суть их состоит в нейтрализации выделившихся токсичных соединений с последующей дополнительной утилизацией. Нейтрализующие реагенты следует подбирать, учитывая состав пропитывающей жидкости, что крайне затруднительно в случае с каменноугольным маслом из-за сложности его состава. Постоянные дополнительные затраты на нейтрализующий реагент делают этот способ дорогостоящим.

Наиболее распространенными промышленными способами утилизации твердых органических отходов являются термические методы [4].

Самый старый термический метод — *сжигание*. Поскольку все шпалы пропитаны антисептическими средствами, при их сжигании выделяются дымовые газы, содержащие токсичные и канцерогенные вещества, такие как ацетон, бутанол, фенолы, фенантрены, в большой концентрации. Эти вещества, попав в воздух, могут вызвать у людей отравление, способствовать появлению тяжелых заболеваний. Приемлемой для окружающей среды и человеческого организма, концентрации токсичных веществ можно

добиться, сжигая шпалы совместно с другими видами топлива, однако этот способ требует наличие в избытке альтернативного сырья.

Утилизация ОДШ методом *газификации* дает меньшее количество газов, подвергаемых очистке, по сравнению со сжиганием. Суть процесса газификации заключается во взаимодействии органической массы или продуктов ее термической переработки с газифицирующими окислительными либо восстановительными агентами при повышенной температуре, в результате чего органическая часть или продукты ее термической переработки превращаются в горючие газы, которые после очищения могут быть использованы для выработки тепловой или электрической энергии [5, 6]. Недостатком газификации является необходимость применения дорогостоящей системы очистки генераторного газа от термодинамически устойчивых токсичных соединений каменноугольного масла.

Утилизация ОДШ методом *пиролиза* представляет наибольший интерес. Правильная организация технологического процесса при использовании данного метода позволяет покрыть энергетические потребности утилизации, более того, возможно использование избытка вырабатываемого тепла в технологических или бытовых нуждах [7]. Реализация жидких и твердых продуктов позволит повысить экономическую эффективность переработки. С экологической точки зрения пиролиз является наиболее интересным и перспективным методом утилизации, так как осуществляется в герметичных условиях [8] и количество образуемых при этом газов намного меньше, чем при сжигании или газификации.

На кафедре переработки древесных материалов КНИТУ был исследован процесс утилизации ОДШ методом быстрого пиролиза. Цикл экспериментов осуществляли для образцов, полученных из пропитанной части оработанных деревянных шпал с массовой концентрацией каменноугольно-

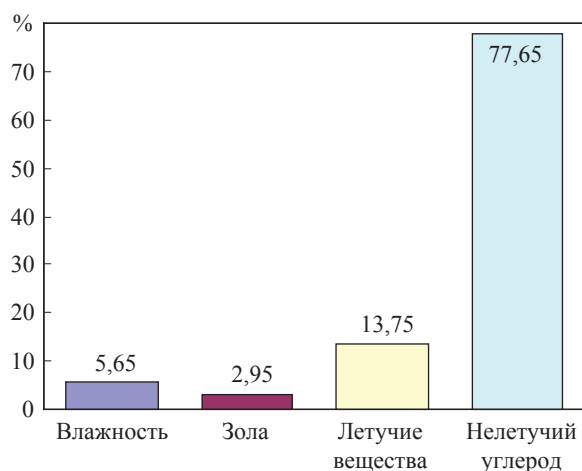


Рис. 2. Результаты анализов угля
Fig. 2. The results of coal analyses

го масла 12,9 и 80 % при температурных режимах: 400, 450, 500 °С. Жидкие продукты, полученные в ходе эксперимента, подвергали аналитическому исследованию. Химический состав жидких продуктов периферийной пропитанной зоны шпалы определяли методом хроматомасс-спектрометрии на установке TurboMass Gold с предварительной подготовкой методом термостагирования при температуре 70 °С в течение 1 ч. Идентификацию органических соединений пиролизной жидкости проводили с использованием библиотек масс-спектров Nist и Nbs [9].

Результаты и обсуждения

Анализ бензольного экстракта пиролизной жидкости, полученной при термическом разложении ОДШ с массовой концентрацией каменноугольного масла 80 %, выявил высокое содержание соединений, характерных для состава каменноугольного масла: фенолов 20,1 %, флуоренантраценов и фенантронов 17,2 %, пиренов 16,9 %. Однако следует отметить и наличие легких фракций. Анализ паровой фракции пиролизной жидкости, полученный путем термостагирования, показал содержание в больших количествах ацетона (22 %), бензола (17 %), бутанола (12 %).

Анализ пиролизной жидкости, полученной при термическом разложении ОДШ с массовой концентрацией каменноугольного масла 12,9 %, что соответствует общей массовой концентрации каменноугольного масла в деревянных шпалах, показал наличие следующих соединений: бензола 6,6 %, толуола 7,5 %, альфа-пинена 7 % и др. Анализ паровой фазы выявил преобладание лесохимических продуктов: уксусной кислоты (31,1 %), фурфурола (11,4 %), метилацетата (14,6 %) с незначительной долей компонентов каменноугольного масла.

Термодинамическая устойчивость основных компонентов каменноугольного масла при температурных режимах пиролиза древесины (250...450 °С) позволяет рассматривать процесс пиролиза ОДШ как совокупность процессов термического разложения и дистилляции каменноугольного масла.

Для определения степени соответствия угля, полученного при пиролизе отработанных деревянных шпал, стандарту, были проведены анализы влажности, зольности, массовой доли летучих веществ и нелетучего углерода. Результаты анализов представлены на рис. 2.

Результаты анализов показали соответствие угля марке В по ГОСТ 7657–84 «Уголь древесный. Технические условия».

По результатам исследований разработана установка термической переработки органосодержащего сырья, которая может быть использована при утилизации отработанных деревянных шпал [10]. Принципиальная схема установки представлена на рис. 3.

Установка содержит узел очистки и измельчения сырья, сушильную камеру, выполненную в виде двух последовательно соединенных шнековых транспортеров, реактора пиролиза конусной формы, конденсатора в виде распылительной и насадочной колонн и топочное устройство. Дополнительно установка содержит шнековый питатель для транспортировки и охлаждения твердого продукта и узел брикетирования угля.

Установка работает следующим образом: ОДШ, прошедшие предварительную подготовку (очищенные от посторонних предметов и металлических включений, измельченные) с помощью дозатора 4 попадают на сушку в двух транспортерах. В первом транспортере 5 сушка осуществляется путем передачи тепловой энергии топочными газами через стенку, а во втором транспортере 6 — за счет передачи тепловой энергии воздухом, нагретым топочными газами до температуры 160...200 °С. После сушки до влажности 12 % измельченное сырье поступает в конусный реактор 7 пиролиза, где происходит термическое разложение сырья при температуре 450...520 °С с образованием парогазовой смеси и угля. Уголь поступает в шнековый транспортер 12, где происходит его охлаждение до 50 °С и затем идет в брикетер 13 древесного угля.

Парогазовые продукты разложения поступают в конденсатор, состоящий из распылительной колонны 8 и насадочной колонны 15, где в результате конденсации при температуре 180...290 °С отделяется жидкий продукт [11, 12], который собирается в приемной ванне 10. Несконденсированный пиролизный газ направляется в топку 9 для получения тепловой энергии.

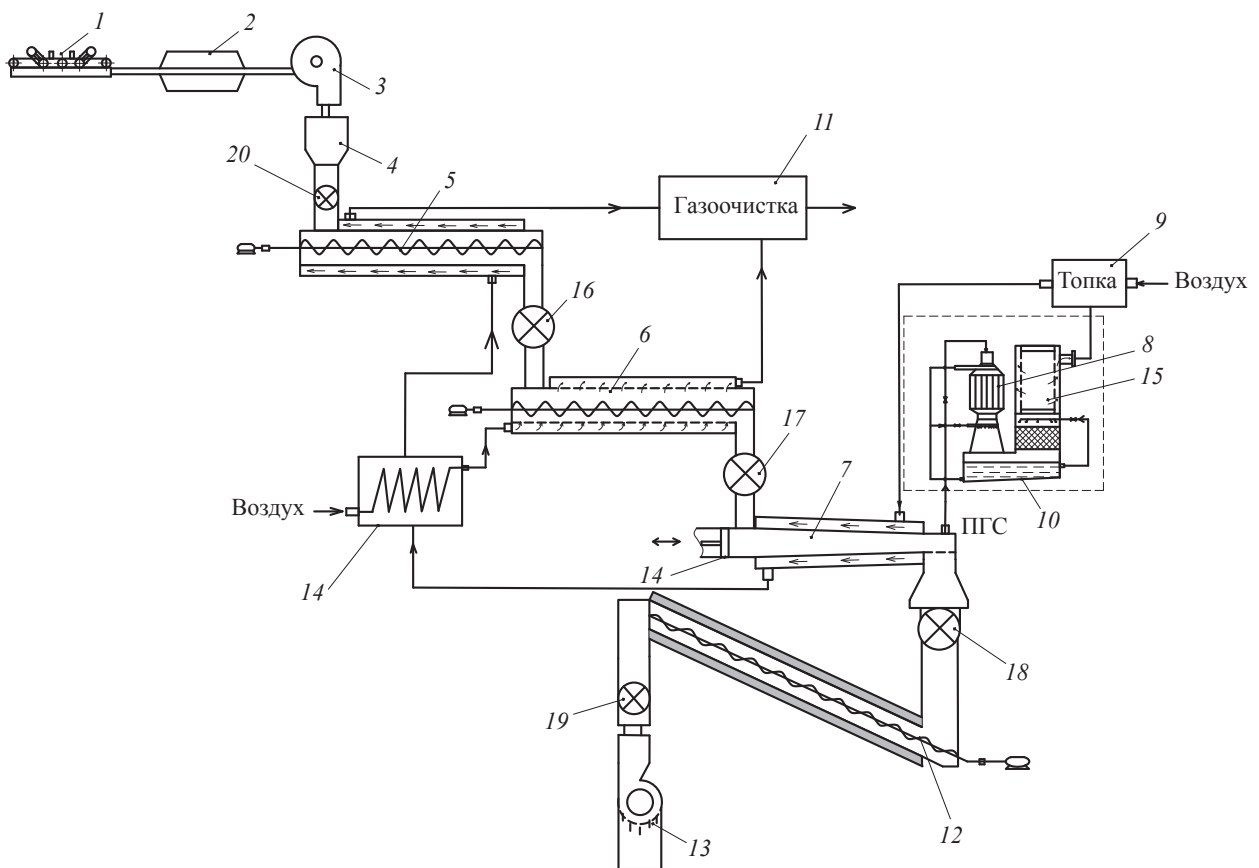


Рис. 3. Принципиальная схема установки переработки органосодержащего сырья: 1 — механический очиститель; 2 — металлоискатель; 3 — рубительная машина; 4 — дозатор; 5, 6, 12 — шнековые транспортеры; 7 — камера пиролиза; 8 — распылительная колонна; 9 — топка; 10 — емкость для сбора жидкого продукта; 11 — газоочиститель; 13 — брикетер; 14 — теплообменник; 15 — насадочная колонна; 16–20 — секторные питатели

Fig. 3. The schematic diagram of the installation processing some organic raw materials: 1 — mechanical cleaner; 2 — metal detector; 3 — chipping machine; 4 — batcher; 5, 6, 12 — the screw conveyor; 7 — pyrolysis camera; 8 — spray tower; 9 — firebox; 10 — reservoir for collecting the liquid product; 11 — gas purifier; 13 — briquette installation; 14 — heat exchanger; 15 — nozzle column; 16–20 — sector feeder

Секторные питатели 16–20 обеспечивают герметизацию узлов установки, которая необходима в технологических процессах.

Топочные газы, полученные при сжигании несконденсированного пиролизного газа [13], используются для нагревания реактора пиролиза, после чего направляются в теплообменник 14 для нагрева воздуха, используемого для сушки измельченного сырья во втором шнековом транспортере, затем направляются в первый шнековый транспортер с целью передачи тепла сырью через стенку для предварительного подогрева. Затем отработанные топочные газы и воздух подвергаются очистке в газоочистителе 11.

При утилизации на данной установке ОДШ с влажностью 50 % измельчение шпал проводится до 10 мм. Температура сушки 160 °С, термического разложения 520 °С, конденсации парогазовой смеси 230 °С, температура охлажденного угля 50 °С. Выход продукта 1 т перерабатыва-

емого сырья: жидких продуктов для пропитки шпал — 300 кг, угольных брикетов — 280 кг.

Вывод

Данная установка позволяет экологически чисто перерабатывать отработанные деревянные шпалы с получением жидкого продукта для пропитки новых деревянных шпал, а также угольных брикетов.

Список литературы

- [1] Ресурсосбережение при утилизации отработанных деревянных шпал / Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, Р.Г. Хисматов, М.Р. Хайруллина, Э.Е. Антипова, И.Ф. Гараева // Вестник технологического университета, 2015. Т. 18. № 5. С. 248–250.
- [2] Исследование процессов термокондуктивного разложения отработанных деревянных шпал / Д.В. Тунцев, М.Р. Хайруллина, А.Р. Садртдинов, Э.К. Хайруллина, И.С. Романчева // Вестник Казанского технологического университета, 2015. Т. 18. № 20. С. 185–187.

- [3] Тунцев Д.В., Хайруллина М.Р., Савельев А.С., Романчева И.С. Энерго- и ресурсосберегающая технология сушки и утилизации отработанных деревянных шпал // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе: сб. научных статей Первых междунар. Лыковских научных чтений, посвященных 105-летию академика А.В. Лыкова, Москва 22-23 сентября 2015. М.: Университетская книга, 2015. С. 367–369.
- [4] Тимербаев Н.Ф., Сафин Р.Г., Саттарова З.Г. Утилизация твердых отходов деревопереработки, содержащих токсичные вещества // Вестник Казанского технологического университета, 2011. № 4. С. 79–84.
- [5] Разработки КНИТУ в области газификации древесных материалов / Р.Г. Сафин, Н.Ф. Тимербаев, Д.Ф. Зиятдинова, Д.А. Ахметова, Т.О. Степанова // Вестник Казанского технологического университета, 2016. Т. 19. № 3. С. 11–14.
- [6] Харьков В.В., Николаев А.Н. Расчет коэффициента массоотдачи в пленочных аппаратах прямоточно-вихревого типа // Вестник Казанского технологического университета, 2016. Т. 19. № 13. С. 149–152.
- [7] Safin R., Tuntsev D., Safin R., Hismatov R. A mathematical model of thermal decomposition of wood in conditions of fluidized bed // Acta facultatis xylologiae zvolen, 2016, vol. 58, no. 2, pp. 141–148.
- [8] Утилизация отработанных деревянных шпал методом термокондуктивного пиролиза / Д.В. Тунцев, М.Р. Хайруллина, Э.К. Хайруллина, А.С. Савельев, И.С. Романчева // Вестник Югорского государственного университета, 2015. № 5 2 (37). С. 139–140.
- [9] Тунцев Д.В., Хайруллина М.Р. Ресурсосберегающая технология утилизации отработанных деревянных шпал // Деревообрабатывающая промышленность, 2015. № 3. С. 47–49.
- [10] Способ термической переработки органосодержащего сырья и установка для его осуществления Пат. 2582698 Российская Федерация, МПК С 10 В 57/10 / Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, Р.Г. Хисматов, Н.Ф. Тимербаев, А.В. Сафина, А.М. Касимов, М.Р. Хайруллина, А.Р. Арсланова, Э.Е. Антипова; заявитель и патентообладатель Казанский национальный исследовательский технологический университет, № 2014154234/05; заявл. 29.12.2014; опубл. 27.04.2016; бюл. № 12. 8 с.
- [11] Tuntsev D.V., Filippova F.M., Khismatov R.G., Timerbaev N.F. Pyrolyzates: products of plant biomass fast pyrolysis // Russian Journal of Applied Chemistry, 2014, vol. 87, no. 9. pp. 1367–1370.
- [12] Исследование свойств продуктов термического разложения отработанных деревянных шпал / Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, Р.Г. Хисматов, М.Р. Хайруллина, Э.К. Хайруллина // Вестник Казанского технологического университета, 2015. № 21. Т. 18. С. 94–96.
- [13] Технология быстрого пиролиза при энергетическом использовании низкокачественной древесины / А.Н. Грачев, В.Н. Башкиров, И.А. Валеев, Р.Г. Хисматов, А.А. Макаров, Д.В. Тунцев // Энергетика Татарстана, 2008. № 4. С. 16–20.

Сведения об авторах

Тунцев Денис Владимирович — канд. техн. наук, доцент кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: tuncsev_d@mail.ru

Сафин Рушан Гареевич — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: safin@kstu.ru

Хайруллина Милауша Рашатовна — аспирант кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: khayrullina_mila@mail.ru

Китаев Сергей Васильевич — аспирант кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: kitaev-sv@gmt.com.ru

Хайруллина Эндже Рашатовна — аспирант кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: endzhe_31@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.02.2017 г.

THE UTILIZATION OF THE USED WOODEN SLEEPERS

D.V. Tuntsev, R.G. Safin, M.R. Khairullina, S.V. Kitaev, E.R. Khayrullina

Kazan National Research Technological University (KNRTU), Karla Marksa st., 68, 420015, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
safin@kstu.ru

Used wooden sleepers are impregnated with organic preservatives with high volatility, toxic and cancerogenic properties to increase their life duration. As a result, the utilization of used wooden sleepers is the urgent task of environmental protection. Most often used wooden sleepers are being polluted by petroleum products during their field service. Besides, they can have some metal inclusions left after stripping operations. According to the Federal Classificatory Catalogue of Wastes used wooden sleepers are finished products that have lost their application properties and have joined the third ecological hazard class of solid organic wastes. Officially permitted methods

of used wooden sleepers utilization are burial, physicochemical and thermal methods (incineration, gasification, pyrolysis) and application as a part of composite and construction materials. Pyrolysis is considered the best method of their utilization as it allows to destroy and to detoxify used wooden sleepers, moreover, it is also regenerates energy and new materials. The method of heat treatment of organic raw materials which can be applied to the wooden sleepers recycling has been developed at the Department of Wood Processing (Kazan National Research Technological University). The offered method and the designed installation provide ecological treatment of used wooden sleepers, producing special liquid to impregnate new sleepers, some fine-dispersed coal (coal bricks in perspective) and uncondensable pyrogas as a source of heat energy for technological processes.

Keywords: railway industry, wooden sleepers, pyrolysis, clean technologies

Suggested citation: Tuntsev D.V., Safin R.G., Khairullina M.R., Kitaev S.V., Khayrullina E.R. *Utilizatsiya otrabotannykh derevyannykh shpal* [The utilization of used wooden sleepers]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 70–75. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-70-75

References

- [1] Tuntsev D.V., Safin R.G., Khismatov R.G., Khairullina M.R., Antipova E.E., Garaeva I.F. *Resursosberezenie pri utilizatsii otrabotannykh derevyannykh shpal* [Resource-saving at utilization of the used wooden sleepers] *Bulletin of Kazan Technological University*, 2015, v. 18, no. 5, pp. 248-250. (in Russian)
- [2] Tuntsev D.V., Khairullina M.R., Sadrtidinov A.R., Khairullina E.K., Romancheva I.S. *Issledovanie protsessov termokonduktivnogo razlozheniya otrabotannykh derevyannykh shpal* [Research of processes of decomposition of waste thermoconductive wooden sleepers] *Bulletin of Kazan Technological University*, 2015, v. 18, no. 20, pp. 185-187. (in Russian)
- [3] Tuntsev D.V., Khairullina M.R., Savelyev A.S., Romancheva I.S. *Energo- i resursosberegayushchaya tekhnologiya sushki i utilizatsii otrabotannykh derevyannykh shpal* [Energy and resource saving technology of drying and disposal of used wooden sleepers] *Actual problems of drying and hydrothermal treatment of materials in various industries and the agro-industrial complex: collection of scientific articles the First International Likovskiy scientific readings devoted to the 105th anniversary of academician A.V. Lykov*, 2015, pp. 367-369. (in Russian)
- [4] Timerbayev N.F., Safin R.G., Sattarova Z.G., *Utilizatsiya tverdykh otkhodov derevopererabotki, sodержashchikh toksichnye veshchestva* [Utilization of the solid waste of wood processing containing toxic substances] *Bulletin of Kazan Technological University*, 2011, no. 4, pp. 79-84. (in Russian)
- [5] Safin R.G., Timerbayev N.F., Ziyatdinova D.F., Akhmetov D.A., Stepanova T.O. *Razrabotki KNITU v oblasti gazifikatsii drevesnykh materialov* [Developments of KNITU in the field of gasification of wood material] *Bulletin of Kazan Technological University*, 2016, v. 19, no. 3, pp. 11-14. (in Russian)
- [6] Kharkov V.V., Nikolaev O.N. *Raschet koeffitsienta massootdachi v plenochnykh apparatakh pryamotochno-vikhrevogo tipa* [Calculate the coefficient of mass transfer in film apparatus direct-flow-vortex type] *Bulletin of Kazan Technological University*, 2016, v. 19, no. 13, pp. 149-152. (in Russian)
- [7] Safin R., Tuntsev D., Safin R., Hismatov R. *A mathematical model of the thermal decomposition of wood in conditions of fluidized bed*. *Acta facultatis xylogologiae zvolen*, 2016, v. 58, no. 2, pp. 141-148. (in Russian)
- [8] Tuntsev D.V., Khairullina M.R., Khairullina E.K., Savelyev A.S., Romancheva I.S. *Utilizatsiya otrabotannykh derevyannykh shpal metodom termokonduktivnogo piroliza* [Dispose of used wooden sleepers by method of thermoconductive pyrolysis] *Bulletin of Ugra state university*, 2015, no. S2 (37), pp. 139-140. (in Russian)
- [9] Tuntsev D.V., Khairullina M.R. *Resursosberegayushchaya tekhnologiya utilizatsii otrabotannykh derevyannykh shpal* [Resource-saving technology of recycling of used wooden sleepers] *Woodworking industry*, 2015, no. 3, pp. 47-49. (in Russian)
- [10] *Sposob termicheskoy pererabotki organosoderzheniya syr'ya i ustanovka dlya ego osushchestvleniya* [The method of thermal processing of organics-containing raw material and installation for its implementation] *Patent of Russia № 2582698*. 2016. *Bull.*, no. 12, 8 p. (in Russian)
- [11] Tuntsev D.V., Filippova F.M., Khismatov R.G., Timerbaev N.F. *Pyrolyzates: products of plant biomass fast pyrolysis*. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2014, v. 87, no. 9, pp. 1367-1370.
- [12] Tuntsev D.V., Safin R.G., Khismatov R.G., Khairullina M.R., Khairullina E.K. *Issledovanie svoystv produktov termicheskogo razlozheniya otrabotannykh derevyannykh shpal* [Research of properties of products of thermal decomposition of the fulfilled wooden sleepers] *Bulletin of Kazan Technological University*, 2015, no. 21, v. 18, pp. 94-96. (in Russian)
- [13] Grachev A.N., Bashkirov V.N., Valeev I.A., Khismatov R.G., Makarov A.A., Tuntsev D.V. *Tekhnologiya bystrogo piroliza pri energeticheskom ispol'zovanii nizkokachestvennoy drevesiny* [Technology of fast pyrolysis at energy use of low-quality wood] *Energy of the Tatarstan*, 2008, no. 4, pp. 16-20. (in Russian)

Author's information

Tuntsev Denis Vladimirovich — Cand. Sci. (Engineering), Assoc. Prof. Wood Processing Department of Kazan National Research Technological University, e-mail: tuncev_d@mail.ru

Safin Rushan Gareevich — Dr. Sci. (Engineering), Professor, Chair of Department Wood Processing of Kazan National Research Technological University, e-mail: safin@kstu.ru

Khayrullina Milausha Rashatovna — Postgraduate student at Wood Processing Department of Kazan National Research Technological University, e-mail: khayrullina_mila@mail.ru

Kitaev Sergey Vasil'evich — Postgraduate student at Wood Processing Department of Kazan National Research Technological University, e-mail: kitaev-sv@gmt.com.ru

Khayrullina Endzhe Rashatovna — Postgraduate student at Wood Processing Department of Kazan National Research Technological University, e-mail: endzhe_31@mail.ru

Received 15.02.17