

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

# **ВЕСТНИК**

Санкт-Петербургского  
государственного университета  
технологии и дизайна



**Серия 1**

Естественные  
и технические науки

**№ 3/2021**

**В. А. Рыжиков, А. А. Пекарец, А. Г. Кузнецов, Э. Л. Аким**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191 186 РФ, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

## ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ КАРТОННО-БУМАЖНОЙ МАКУЛАТУРЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ ЦЕЛЛЮЛОЗУ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ

© В. А. Рыжиков, А. А. Пекарец, А. Г. Кузнецов, Э. Л. Аким, 2021

Рассматривается допустимость переработки отходов ЦБП как компонентов топливных брикетов и возможные проблемы, возникающие при выполнении поставленных задач.

**Ключевые слова:** брикет, отходы ЦБП, пиролиз, диоксины, экология.

Тема утилизации промышленных отходов во всем мире и, в частности, России в настоящее время крайне актуальна. К сожалению, не всегда есть возможность утилизировать тот или иной продукт переработки, и приходится прибегать к различным мерам, как, например, к захоронению на полигонах. Это, безусловно, оказывает негативное влияние на окружающую среду и является одной из современных экологических проблем.

В данной статье рассматриваются возможности метода пиролиза для переработки отходов ЦБП, в частности отходов тонкого и грубого сортирования макулатуры, содержащей наряду с целлюлозными компонентами синтетические полимеры. На целлюлозно-бумажных комбинатах в случае переработки макулатуры образуется большое количество смешанных бумажных отходов, дополнительно содержащих синтетические полимеры, которые в ряде случаев выделяются в системах очистки сточных вод в виде не утилизируемого скопа [1].

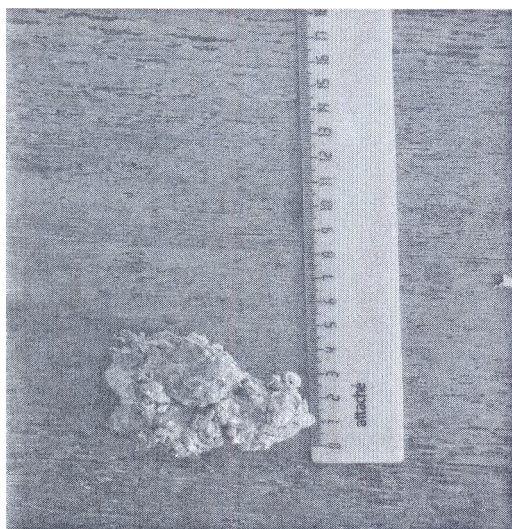
В данной работе в качестве используемого сырья были взяты отходы грубого и тонкого сортирования макулатуры с предприятия АО «КНАУФ ПЕТРОБОРД» [2].

Перед началом переработки данное сырье было высушено в специальных сушильных установках до относительной влажности 15–20% и размолото до меньших размеров фракций.

Отходы тонкого сортирования макулатуры изображены на рис. 1 [2], а грубого — на рис. 2 [2].

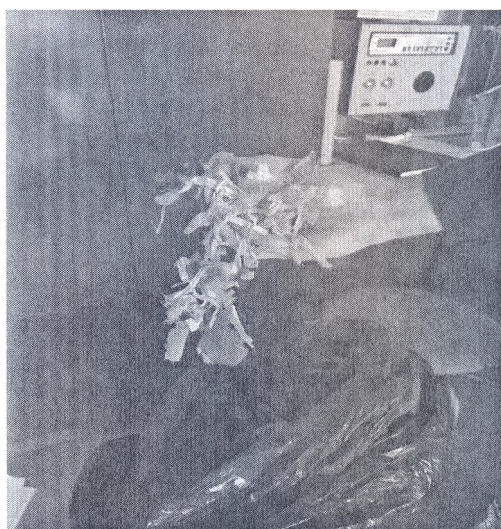
Описываемые отходы отнесены к V классу опасности, что является самым неопасным классом из ныне существующих.

Основная проблема, которая может возникнуть при утилизации отходов целлюлозно-бумажной промышленности, содержащих синтетические полимеры, — это возможность возникновения диоксинов, которые, в случае наличия в отходах, например, поливинилхлорида, образуются из галогенов [3]. На данный момент подавляющее количество информации имеется о хлористых диоксинах, так как они исследованы в наибольшей мере, нежели остальные виды. В случае выброса диоксинов в атмосферу, количество которых превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК), предлагается дожигать дымовые газы, используя электроплазменные технологии [5].



**Рис. 1.** Отходы тонкого сортирования.

**Рис. 1.** Fine screening waste.



**Рис. 2.** Отходы грубого сортирования.

**Рис. 2.** Coarse sorting waste.



Под электроплазменными технологиями принято понимать процессы широкого класса направленности, в основе которых лежит применение генератора низкотемпературной плазмы — плазмотрона [6]. Главное в этой технологии — ионизованный газ, плазма, температура которой может варьироваться, в зависимости от решаемой задачи, от 2 до 6 тысяч градусов Цельсия. Принципиально важно, что в таком реакторе нет горения, отходы не сжигаются, а подвергаются газификации. А раз нет ни горения, ни кислорода — отходы не сжигаются, следовательно, при такой температуре нет условий для образования диоксинов, фуранов, оксидов азота, диоксида серы, углекислого газа и прочих вредных выбросов. Кроме того, плазма разбивает на части не только отдельные частицы, но и молекулы, поэтому в процессе переработки отходов практически не создается твердых микрочастиц [6]. Тем самым становится очевидной сфера применения таких технологий — переработка отходов, являющаяся на данный момент одной из самых актуальных задач в сфере экологии. Эффективное внедрение плазменных технологий в производства по переработке отходов требует оптимальных решений с учетом критериев производительности, себестоимости и безопасности процесса, а также качества достигаемого результата [7].

В плазмохимическом реакторе при высоких температурах вещества разлагаются до молекулярного, атомарного и ионизированного состояния с последующим образованием синтез-газа, который является аналогом природного газа. Возможность регулирования состава плазмообразующего газа, давления и высоких температур позволяет достигать эффективности переработки в 99,9%. Такими методами можно обезвреживать органические, фтор-, хлор-, фосфор- и сераорганические вещества, металлоорганические соединения и др. Особенно полезны эти методы при утилизации труднотопящихся и негорючих соединений [8].

Однако такая переработка сама по себе является энергоемкой и поэтому экономически не целесообразной.

Для переработки смешанных бумажных отходов с покрытиями из синтетических полимеров представляет интерес их совместная переработка с древесными отходами по комбинированной технологии — сочетание инновационной технологии производства древес-

ных и древесно-угольных брикетов с плазмохимическим дожиганием в плазмо-реакторе газов, отходящих после сжигания пиролизных газов карбонизации.

Как известно, по сравнению с обычным сжиганием дров брикеты и пеллеты имеют явные преимущества [9]–[11], в том числе и по теплотам сгорания, что видно из представленной ниже табл. 1 [12].

Производство биотоплива второго поколения — древесных пеллет и брикетов, в том числе древесно-угольных, создано в РФ за 20 лет практически без государственного финансирования. При этом доля России в мировой торговле лесными товарами ни по одному другому виду продукции не составляет тех 5–6%, от мирового рынка, которые сегодня РФ имеет по пеллетам и брикетам [12]–[13].

В последние годы произошел качественный скачок в производстве в России биотоплива второго поколения — от использования импортного оборудования и технологий к созданию отечественных инновационных технологий и даже оборудования. Так, используя импортное оборудование, в г. Онега создали уникальную технологию производства пеллет из гидролизного лигнина (150 тыс. тонн в год), которая может успешно тиражироваться в СНГ. Еще более принципиальные изменения произошли в производстве брикетов. Так, если по пеллетам все производство строится на импортном оборудовании, то по брикетам сегодня есть уникальная, защищенная 4 патентами РФ технология Александра Пекарца [10], [11], [14]–[16] — инновационная экструзионная релаксационно-аэродинамическая технология (ЭРАТ) получения древесных, торрефицированных и угледревесных брикетов. Это производство базируется на уникальном оборудовании, которое по этим патентам производится уже и на территории ЕС [16]. Обеспечивающая лучшее в мире качество древесно-угольных брикетов, первоначально предназначенная для переработки древесных опилок, эта технология может быть также использована при решении проблем переработки как смешанных промышленных отходов, содержащих синтетические полимеры, так и бытового и муниципального мусора древесного происхождения.

Создание этой инновационной технологии позволяет предложить новый подход к решению проблем свалок как к составной части перехода к «Умному городу будущего». В этом случае использование для по-

**Таблица 1.** Тепловые характеристики различных видов топлива

**Table 1.** Thermal characteristics of various fuels

Вид топлива	Теплота сгорания (МДж/кг)	Калорийность (ккал/кг)	Калорийность (кДж/кг)	Калорийность (квт-ч/кг)	Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Удельный вес (кг/дц <sup>3</sup> )	Влажность %	% золы	% серы	Энергетическая плотность (ГДж/м <sup>3</sup> )
Брикет из опилок лиственных	18–19	4300–4700	17991–19664	5–5,46	1300	1,3	2–4	1–3	0	26,0
Древесно-угольный брикет	34,3	8192	34275	9,53	798	0,798	1,8	1–4,5	0–0,45	27,4
Дрова (береза)	10	2000	8368	2,32	650	0,65	12	2	0	9,8
Пеллеты древесные	18,4	4800–5000	20083–20920	5,58–5,81	650–1000	0,65–1	8–12	2,5	0,1	12–18
Древесная щепа	10	4500	18828	5,23	290	0,29	50–60	2	0	2,9

лучения биотоплива вторичной древесины можно рассматривать как путь сокращения твердых отходов мегаполиса.

В структуре древесного сырья, используемого в качестве биотоплива, например, в Швеции, вторичная древесина уже сегодня играет доминирующую роль. При так называемом «каскадном» использовании древесины на завершающей стадии жизненного цикла именно получение биотоплива и его использование является наиболее экологически дружественным вариантом, исключая дополнительное выделение парниковых газов [9], [17]–[19]. Так, при получении древесно-пластиковых композитов [20], [21] в качестве наполнителя используется гранулированный флото-шлам, содержащий мелкое целлюлозное волокно и минеральные наполнители — карбонат кальция и глинозем.

Созданные за последние 20 лет новые технологии, реализованные в производстве твердого биотоплива второго поколения, позволяют принципиально по-новому решать большинство задач, связанных с промышленной переработкой большинства видов твердых отходов — от бытовых до промышленных и сельскохозяйственных.

При этом безусловно целесообразно учитывать не только отечественные справочники по НДТ, но и основополагающие директивы ЕС 2008/98/ЕС (Рамочная — Waste Framework Directive) и 2000/76/ЕС (О сжигании отходов — The Waste Incineration Directive).

В этом случае плазменное дожигание необходимо лишь в том случае, если в пиролизных газах оказывается повышенное содержание диоксинов.

Следует особо отметить, что в отходах тонкого сортирования макулатуры содержится достаточно много карбоната кальция — основного наполнителя при современном производстве, например, офисных видов бумаги [12]–[13], [20]–[21]. Карбонат кальция способен при пиролизе нейтрализовать хлористый водород, выделяющийся из поливинилхлорида, содержащегося в отходах грубого сортирования. Это дополнительно снизит возможность образования диоксинов при утилизации таких отходов.

Использование данных технологий позволит минимизировать вредоносное влияние отходов ЦБП и снизить количество отходов, захороненных на полигонах, а также позволит использовать синтез-газ для получения тепловой и электрической энергии, повысит экологическую и экономическую эффективность предприятий ЦБП.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что при утилизации отходов целлюлозно-бумажной промышленности, в которых могут содержаться хлористые элементы, такие как поливинилхлорид, есть вероятность выделения некоторого объема диоксинов; однако в случае использования таких отходов для получения топливных брикетов и их последующей карбонизации содержание диоксинов в продуктах сжигания пиролизного газа снижается до минимального. В этом случае применение плазмохимического реактора для дожигания становится лишь одной из опций систем

## Список литературы

1. Технология целлюлозно-бумажного производства. Справочное издание в трех томах. СПб.: ВНИИБ, 2003.
2. КНАУФ. URL: <https://www.knauf.ru/>.
3. Румак В. С., Умнова Н. В. Диоксины и безопасность биосистем: результаты натуральных исследований // Жизнь Земли. 2018. Том 40. №3. С. 308–320.
4. Ившин В. П., Полушин Р. В. Диоксины и диоксиноподобные соединения. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2004. С. 315
5. Федоров Л. А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы. М.: Наука, 1993. С. 266.
6. Чередниченко В. С., Аньшаков А. С., Кузьмин М. Г. Плазменные электротехнологические установки. Новосибирск. 2011. С. 602
7. Братцев А. Н., Попов В. Е., Рутберг А. Ф., Штенгель С. В. Установка для плазменной газификации различных видов отходов // Теплофизика высоких температур. 2006. Т. 44, №6. С. 832–837.
8. Анахов С. В., Пыкин Ю. А. О методах плазменной инсинерации в технологиях утилизации и обезвреживания отходов // Аграрный вестник Урала. Технические науки. 2017. №7. С. 46–50.
9. Wood Energy in the ECE Region Data, trends and outlook in Europe, the Commonwealth of Independent States and North America, UNECE/FAO 2018.
10. Аким Э. Л., Пекарец А. А., Роговина С. З., Берлин А. А. Релаксационное состояние древесины и получение целлюлозных композитов энергетического назначения — древесных брикетов и пеллет // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2020. №9. С. 3–8. DOI: 10.31044/1994-6260-2020-0-9-3-8.
11. Akim E. L., Pekarets A. A., Rogovina S. Z., Berlin A. A. Relaxation State of Wood and Production of Cellulose Composites for Energy Purposes: Wood Briquettes and Pellets // Polymer Science, Series D, 2021. Vol. 14. No 1. pp. 102–105. doi.org/10.1134/S1995421221010020.
12. Forest Products Annual Market Review 2019–2020 — Forestry and Timber — UNECE. 82 p.
13. Ежегодный обзор рынка лесных товаров 2018–2019 годы. Женева: ЕЭК ООН, 2020–173 с. ISBN 978-92-1-004516
14. Пекарец А. А. Патенты РФ RU 2628602; RU 2596683; RU 2653513; RU 2678089.
15. Мандре Ю. Г., Пекарец А. А., Аким Э. Л. Карбонизация и торрефикация древесины // Леса России. 2018. Т. 2. С. 109–111.
16. Pekarets A., Mandre Y., Vinogradov N., Akim E. Bio refining of larch sawdust producing wood and wood-charcoal briquettes: scientific and technological aspects. EUBCE 2019. Lisbon 27–30 May 2019.
17. Akim E. L. /E. Hansen, R. Panwar, R. Vlosky. «The Global Forest Sector: Changes, Practices, and Prospects». NY: Taylor & Francis Group, 2017. 462 p.
18. Аким Э. Л. Роль биорефайнинга древесины при переходе Лесного Сектора к «Зеленой экономике»: сборник материалов XXIII Международного Биос-форума и Молодежной Биос-олимпиады / Составители: профессор А. И. Шишкин и др. СПб.: СПб НЦ РАН-ВВМ-Любович, 2018. 336 с.
19. Forest-based Sector Technology Platform (FTP). Strategic Research and Innovation Agenda for 2020. Forest-based Sector Technology Platform (FTP). Annex to the Strategic Research and Innovation Agenda. CEPI.
20. Klyosov A. Wood-Plastic Composites. NY: Wiley, 2007. 698p.
21. Клесов А. А. Древесно-полимерные композиты / Пер. с англ. СПб., 2010, С. 735

V. A. Ryzhikov, A. A. Pekarez, A. G. Kuznezov, E. L. Akim

Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191 186 Russia, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 18

## RECYCLING OF CARDBOARD AND PAPER WASTEPAPER CONTAINING CELLULOSE AND SYNTHETIC POLYMERS

The possibility of recycling pulp and paper waste in the form of fuel briquettes and possible problems in the implementation of the tasks are considered.

**Keywords:** briquette, waste pulp and paper industry, pyrolysis, dioxins, ecology.

### References

1. Pulp and paper technology. Reference edition in three volumes. St. Petersburg: VNIIB, 2003 (in Rus.).
2. KNAUF. URL: <https://www.knauf.ru/> (in Rus.).
3. Rumak V. S., Umnova N. V. Dioxins and safety of biosystems: results of field studies // *Zhizn» Zemli*. 2018. Vol. 40. No 3. pp. 308–320. (in Rus.)
4. Ivshin V. P., Polushin R. V. Dioxins and dioxin-like compounds. Yoshkar-Ola: Mar. state un-t, 2004. 315 p. (in Rus.)
5. Fedorov L. A. Dioxins as an Environmental Hazard: Retrospective and Prospects. M.: Nauka, 1993. 266 p. (in Rus.)
6. Cherednichenko V. S., Anshakov A. S., Kuzmin M. G. Plasma electrical installations. Novosibirsk, 2011. 602 p. (in Rus.)
7. Brattsev A. N., Popov V. E., Rutberg A. F., Shtengel S. V. Installation for plasma gasification of various types of waste // *Thermal physics of high temperatures*. 2006. V. 44, No 6. pp. 832–837. (in Rus.).
8. Anakhov S. V., Pykin Yu. A. On the methods of plasma incineration in waste disposal and disposal technologies // *Agrarian Bulletin of the Urals. Technical science*. 2017. No 7. pp. 46–50. (in Rus.)
9. Wood Energy in the ECE Region Data, trends and outlook in Europe, the Commonwealth of Independent States and North America, UNECE/FAO 2018.
10. Akim E. L., Pekarets A. A., Rogovin S. Z., Berlin A. A., The relaxation state of wood and the production of cellulose composites for energy purposes — wood briquettes and pellets // *All materials. Encyclopedic reference book*. 2020. No 9. pp. 3–8. DOI: 10.31 044 / 1994-6260-2020-0-9-3-8. (in Rus.)
11. Akim E. L., Pekarets A. A., Rogovina S. Z., Berlin A. A., Relaxation State of Wood and Production of Cellulose Composites for Energy Purposes: Wood Briquettes and Pellets // *Polymer Science, Series D*. 2021. Vol. 14, No 1. pp. 102–105. doi.org/10.1134/S1995421221010020. (in Eng.)
12. Forest Products Annual Market Review 2019–2020 — *Forestry and Timber* — UNECE, 82 p.
13. Forest Products Annual Market Review 2018–2019: Geneva: UNECE, 2020. 173 p.
14. Pekarets A. A. RF patents RU 2 628 602; RU 2 596 683; RU 2 653 513; RU 2 678 089 (in Rus.).
15. Mandre Yu. G., Pekarets A. A., Akim E. L. Carbonization and torrefaction of wood // *Forests of Russia*. 2018. Vol. 2. pp. 109–111 (in Rus.).
16. Pekarets A., Mandre Yu., Vinogradov N., Akim E. Bio refining of larch sawdust producing wood and wood-charcoal briquettes: scientific and technological aspects. EUBCE 2019. Lisbon 27–30 May 2019.
17. Akim E. L. /E. Hansen, R. Panwar, R. Vlosky. «The Global Forest Sector: Changes, Practices, and Prospects». NY: Taylor & Francis Group, 2017. 462 p.
18. Akim E. L. The role of wood biorefining in the transition of the Forestry Sector to the «Green Economy». In the Collection of materials of the XXIII International Bios-Forum and Youth Bios-Olympiad / Compiled by Professor A. I. Shishkin et al. — St. Petersburg: St. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences-VVM–Lubavich, 2018, 336 p. (in Rus.).
19. Forest-based Sector Technology Platform (FTP). Strategic Research and Innovation Agenda for 2020. Forest-based Sector Technology Platform (FTP). Annex to the Strategic Research and Innovation Agenda. CEPI.
20. Klyosov A. Wood-Plastic Composites. NY: Wiley, 2007. 698p.
21. Klyosov A. A. Wood-polymer composites: trans. from English. St. Petersburg, 2010. 735 p. (in Rus.).