

УДК 630.181

UDC 630.181

06.01.01 Общее земледелие, растениеводство

General agriculture and crop production

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА
ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ НА ОСНОВЕ
ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ**

**ANALYSIS OF TECHNOLOGIES FOR THE
PRODUCTION OF FUEL PELLETS BASED ON
RAW WOOD**

Медведев Сергей Олегович
Кандидат экономических наук, доцент
SPIN-код (РИНЦ): 1652-1042

Medvedev Sergey Olegovich
Candidate of Economic Science, associate professor
SPIN-code (RSCI): 1652-1042

Терентьев Иван Игоревич
магистрант
e-mail: silavik@mail.ru
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева (филиал СибГУ в г. Лесосибирске), 662543, Российская Федерация, город Лесосибирск, ул.Победы, дом 29

Terentyev Ivan Igorevich
master student
e-mail: silavik@mail.ru
Siberian State University of Science and Technology named after M.F.Reshetnev 662543, Lesosibirsk, Russian Federation

В статье представлен краткий обзор технологий производств топливных гранул на основе древесного сырья. Приведен сравнительный анализ гранул, полученных по рассмотренным технологическим процессам. Сделаны выводы о экономической и технологической целесообразности использования представленных технологий с использованием в качестве сырья древесных отходов

The article presents a brief overview of the technologies for the production of wood-based pellets. The work gives disadvantages and advantages of the products manufactured using the surveyed technologies. A comparative analysis of the granules obtained by the considered technological processes is given. The conclusions are made about the economic and technological feasibility of using the presented technologies using wood waste as a raw material

Ключевые слова: АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ, ТОПЛИВНЫЕ ГРАНУЛЫ, ТОРРЕФИКАЦИЯ, БИОУГОЛЬ, ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ КАРБОНИЗАЦИЯ, БИОЭНЕРГЕТИКА

Keywords: TECHNOLOGY ANALYSIS, FUEL PELLETS, WOOD TORREFACTION, BIO-COAL, HYDROTHERMAL CARBONIZATION, BIO-ENERGY

Doi: 10.21515/1990-4665-149-018

Биоэнергетика вносит существенный вклад в глобальную энергетику, обеспечивая при этом сокращение выбросов парниковых газов и другие экологические преимущества [1]. На сегодняшний день за счет переработки биомассы в топливо обеспечивается около 10% общемирового энергопотребления [2]. При этом многими исследователями признается тенденция к увеличению влияния биоэнергетики на мировое хозяйство.

По итогам 2018 года объем экспортированных древесных топливных гранул из России в Европу и Азию достиг 1,44 млн. тонн, в 2017 году этот показатель равнялся 1,345 млн. тонн. Данный факт свидетельствует в

пользу востребованности данной продукции и бурном развитии производства древесных топливных гранул не только в России, но и в мире [3-5].

Технология производства древесных топливных гранул с момента ее возникновения в 1947 году не претерпела существенных изменений и по сей день. Весь процесс производства можно условно разделить на несколько этапов: предварительное измельчение древесного сырья, сушка до необходимой влажности, доизмельчение сырья, кондиционирование, прессование, охлаждение готовых гранул, их фасовка и упаковка.

Наряду с развитием традиционного пеллетного производства, появилась тенденция изучения и внедрения технологии выпуска торрефицированных пеллет, известных в мире под названием «biocoal». Основные мощности производства биоугля сосредоточены в США и Канаде [6]. Это связано с тем, что основным потребителем пеллет является Евросоюз. Данный факт ведет к тому, что транспортная составляющая расходов производителей из Америки весьма существенна. В то же время, пеллеты, произведенные по средствам обжига, имеют большую насыпную плотность (750-850 кг/м³), что позволяет этим странам сократить издержки на транспортировку продукции до потребителя. Среди достоинств торрефицированных гранул также можно отметить увеличение теплотворной способности, меньшие затраты энергии на размол сырья перед гранулированием [7], неприхотливость в способах хранения обусловленную высокой устойчивостью к поглощению влаги и разложению, возможность сжигания с ископаемым углем. В Евросоюзе также изучают данный метод производства, и сегодня уже существуют заводы-производители торрефицированных гранул на территории отдельных Европейских стран [8]. В России в 2015 году был открыт первый и единственный на данный момент времени завод по производству торрефицированных гранул из лигнина в Архангельской области

компанией ОАО «Бионет» с заявленной производительностью 70000 тонн в год [9].

Технология торрефикации в основе своей схожа с технологией производства древесного угля. Процесс проходит в условиях отсутствия кислорода при медленном нагреве подготовленного сырья до диапазона температур от 250 до 300 °С в зависимости от используемого сырья и других нюансов технологического процесса. Необходимо отметить, что разное соотношение времени нагрева, температуры, а также видов и качества древесины, создает уникальный торрефикат, при этом древесина теряет до 30% массы, и сохраняет от 80 до 90 % ее первоначальной энергоёмкости [10].

Недостатками данного технологического процесса являются необходимость тщательной подготовки сырья, обработка выбросов, необходимость жесткого контроля на протяжении всего процесса торрефикации, опасность самовоспламенения биоугольной пыли, сложности гранулирования и большие энергетические затраты [11].

Помимо технологии торрефикации, биоуголь можно получать и на основе процесса гидротермальной карбонизации (НТС). Принцип гидротермальной карбонизации заключается в обогащении органического вещества углеродом под давлением 20 бар и температурой 180-220 °С. Такие показатели давления и температуры способствуют максимальному выходу твердого вещества из используемого сырья [12]. Для большего ускорения процесса в реактор добавляют лимонную кислоту. Конечный продукт реакции — это угольная суспензия, которую подвергают механическому отжиму до содержания влажности в 50-60% от исходного содержания. Далее продукт сушится до необходимой заказчику влажности (обычно 5-25%) или же до влажности оптимальной для гранулирования продукта. Сушка может осуществляться за счет тепловой энергии выделяемой в ходе реакции.

Главным достоинством технологии является высокий полезный выход продукции. Дело в том, что углеродная эффективность гидротермической карбонизации очень близка к 100%, то есть почти весь углерод содержащийся в сырье переходит в конечный продукт. Помимо этого, стоит отметить, что процесс является экзотермическим, это значит, что энергия, затраченная на запуск реакции, будет частично компенсирована. В качестве сырья можно использовать любую органику, даже самого низкого качества.

К минусам данной технологии можно отнести недостаточную изученность, сложность процесса карбонизации, отсутствие оборудования с производительностью, позволяющей выйти на промышленный уровень, высокая себестоимость выпускаемой продукции.

В табл. 1 представлена сравнительная характеристика показателей углей и топливных гранул на основе древесного сырья.

Таблица №1

Сравнение показателей углей и топливных гранул

Показатель	Уголь бурый	Уголь каменный	Уголь древесный	Гранулы классические	Гранулы торрефицированные	Гранулы карбонизированные
Теплота сгорания, мДж/кг	12	25	27	17-18	21-25	До 30
Зола %	20-45	20-30	5	0,5-1,5	0,5-1,5	0,5-1,5
КПД, %	45	55	65-75	70-80	80-85	85-90
Удельный вес кг/м ³	1200-1500	1200-1500	360	650	850	900
Экологический ущерб	Высокий	Высокий	Нет	Нет	Нет	Нет

Качественные характеристики торрефицированных и карбонизированных гранул улучшаются, тем не менее, целесообразность использования этих технологий с экономической точки зрения подвергается сомнению.

Гидротермальная карбонизация явно проигрывает традиционной технологии производства пеллет, так как объем выпускаемой продукции по технологии НТС несопоставимо мал, что плохо сказывается на окупаемости вложенных средств.

С технологией торрефикации древесных отходов не все так однозначно. Если сравнить удельные капитальные затраты на одну тонну мощности заводов по выпуску обычных пеллет и заводов по выпуску пеллет торрефицированных в США, то увидим, что затраты вполне сопоставимы. Так, например, расходы одного завода компании Enviva мощностью 500 тыс. т в год традиционных пеллет составляют \$107 млн. или \$214 (12 344 руб.) на одну тонну, а расходы завода торрефицированных гранул от компании Zilkha Biomass мощностью 450 тыс. т в год оцениваются в \$90 млн, то есть в \$200 или 11 536 руб. на одну тонну мощности. У норвежской компании Arbaflame завод торрефицированных пеллет мощностью 200 тыс. т планируется построить за 36,8 млн. евро. На одну тонну мощности приходится 12 758 руб. Исходя из того, что капитальные вложения в крупные проекты по производству гранул обоих типов примерно одинаковые можно с уверенностью сказать, что производители торрефицированного топлива выигрывают, так как их продукция более калорийна и требует меньше затрат на транспортировку одной единицы энергии [13-15].

Производство торрефицированных гранул в России целесообразно при определенных условиях (большие объемы производства, существенное удаление завода от потребителей и т.д.). Рентабельность

торрефицированных пеллет может быть выше, чем обычных при сопоставимых объемах производства.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта: «Исследование и моделирование процессов развития экономики лесной промышленности региона в контексте природно-климатических условий и ресурсного потенциала», № 18-410-240003.

Библиографический список

1. Шегельман И. Р., Щукин П. О., Морозов М.А. Ресурсные вызовы в области региональной энергетики и пути их преодоления // Инженерный вестник Дона. – 2012. №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/819.
2. Рябова Т.Г., Безруких Ю.А., Медведев С.О., Алашкевич Ю.Д. Лесопромышленный комплекс России на современном этапе // В сборнике: Социально-экономическое развитие организаций и регионов Беларуси: эффективность и инновации Материалы докладов Международной научно-практической конференции. Витебский государственный технологический университет. 2015. С. 311-315.
3. Шегельман И. Р. Щукин П. О. Анализ рынка потребителей древесного топлива // Инженерный вестник Дона. – 2012. №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/913.
4. Рост экспорта древесных топливных гранул в РФ URL: infobio.ru/news/4422.html.
5. Медведев С.О. Эффективность деятельности предприятий лесоперерабатывающего комплекса // Российский экономический интернет-журнал. 2010. № 2. С. 213-220.
6. Куницкая О. А., Тюрикова Т. В. Производство торрефицированных пеллет // Лесная индустрия – 2017, №9. URL: lesindustry.ru/issues/li_113/Proizvodstvo_torrefitsirovannih_pellet_1505.
7. Manunya Phanphanich Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristics of forest biomass / Manunya Phanphanich, Sudhagar Mani // Bioresource Technology. – Num. 102. – 2011. – pp. 1246 – 1253.
8. Передерий С. В. Перспективы мирового рынка торрефицированной биомассы URL: lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/4410.
9. Dozagrán. Торрефикация пеллет: перспективы использования способа обработки биомассы за рубежом и в России URL: <https://agrobook.ru/blog/user/dozagrán/torrefikaciya-pellet-perspektivy-ispolzovaniya-sposoba-obrabotki-biomassy-za>
10. Медведев С.О., Лукин В.А. Эффективное использование сырьевых ресурсов как фактор конкурентоспособности предприятий лесного комплекса // Лесной экономический вестник. 2009. № 3. С. 33.
11. Мохирев А.П., Медведев С.О., Безруких Ю.А., Герасимова М.М. Применение экономико-математического моделирования для выбора оптимального

варианта использования вторичных древесных ресурсов // Российский экономический интернет-журнал. 2016. № 4. С. 40.

12. Мохирев А.П., Горяева Е.В., Медведев С.О. Оценка технологических процессов лесозаготовительных предприятий // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 4 (24). С. 139-147.

13. Zozulya V.V., Sakhanov V.V., Medvedev S.O., Bezrukih Y.A., Romanchenko O.V. The features of industrial modernization management in forest complex // В сборнике: International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Ecology, Economics, Education and Legislation. 2017. pp. 927-934.

14. Judy A Libra, Kyoung S Ro, Claudia Kammann, Axel Funke, Nicole D Berge, York Neubauer, Maria-Magdalena Titirici, Christoph Fühner, Oliver Bens, Jürgen Kern, Karl-Heinz Emmerich. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis // Biofuels. –Num. 2(1). – 2011. – pp. 89–124

15. Юдкевич Ю. Д., Овсянко А. Д. На пике моды: биоуголь, торрефикат // Леспроминформ, 2012, №8. URL: lesprominform.ru/jarticles.html?id=2991.

References

1. Shegel'man I. R., Shchukin P. O., Morozov M.A. Resursnye vyzovy v oblasti regional'noj ehnergetiki i puti ih preodoleniya. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2012, no. 2. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/819>

2. Ryabova T.G., Bezrukih Yu.A., Medvedev S.O., Alashkevich Yu.D. Lesopromyshlennyj kompleks Rossii na sovremennom ehtape. In the collection: Social'no-ehkonomicheskoe razvitie organizacij i regionov Belarusi: ehffektivnost' i innovacii Materialy dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Vitebskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet, 2015, pp. 311-315.

3. Shegel'man I. R. Shchukin P. O. Analiz rynka potrebitelej drevesnogo topliva. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2012, no. 3. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/913>

4. Rost ehksporta drevesnyh toplivnyh granul v RF [Export growth of wood pellets in the Russian Federation], URL: infobio.ru/news/4422.html.

5. Medvedev S.O. Ehffektivnost' deyatel'nosti predpriyatij lesopererabatyvayushchego kompleksa. *Russian economic online magazine*, 2010, no. 2, pp. 213-220.

6. Kunickaya O. A., Tyurikova T. V. Proizvodstvo torrefitsirovannyh pellet. *Forest industry*, 2017, no. 9. URL: lesindustry.ru/issues/li_113/Proizvodstvo_torrefitsirovannyh_pellet_1505.

7. Manunya Phanphanich Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristics of forest biomass. Manunya Phanphanich, Sudhagar Mani. *Bioresource Technology*, 2011, no. 102, pp. 1246 – 1253.

8. Perederij S. V. Perspektivy mirovogo rynka torrefitsirovannoj biomassy [Prospects for the global market for torrefied biomass], URL: lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/4410.

9. Dozagan. Torrefikaciya pellet: perspektivy ispol'zovaniya sposoba obrabotki biomassy za rubezhom i v Rossii [Torrefication of pellets: prospects for using the method of processing biomass abroad and in Russia], URL: <https://agrobook.ru/blog/user/dozagan/torrefikaciya-pellet-perspektivy-ispolzovaniya-sposoba-obrabotki-biomassy-za>

10. Medvedev S.O., Lukin V.A. Ehffektivnoe ispol'zovanie syr'evykh resursov kak faktor konkurentosposobnosti predpriyatij lesnogo kompleksa. *Forest Economic Gazette*, 2009, no. 3, 33 p.

11. Mohirev A.P., Medvedev S.O., Bezrukih Yu.A., Gerasimova M.M. Primenenie ehkonomiko-matematicheskogo modelirovaniya dlya vybora optimal'nogo varianta ispol'zovaniya vtorichnykh drevesnykh resursov. *Russian economic internet magazine*, 2016, no. 4, 40 p.

12. Mohirev A.P., Goryaeva E.V., Medvedev S.O. Ocenka tekhnologicheskikh processov lesozagotovitel'nykh predpriyatij. *Forestry magazine*, 2016, vol. 6, no. 4 (24), pp. 139-147.

13. Zozulya V.V., Sakhanov V.V., Medvedev S.O., Bezrukih Y.A., Romanchenko O.V. The features of industrial modernization management in forest complex. In the collection: *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Ecology, Economics, Education and Legislation*, 2017, pp. 927-934.

14. Judy A Libra, Kyoung S Ro, Claudia Kammann, Axel Funke, Nicole D Berge, York Neubauer, Maria-Magdalena Titirici, Christoph F'hner, Oliver Bens, Jurgen Kern, Karl-Heinz Emmerich. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels*, no. 2(1), 2011, pp. 89–124.

15. Yudkevich Yu. D., Ovsyanko A. D. Na pike mody: biougol', torrefikat [At the height of fashion: biochar, torreficate], *Lesprominform*, 2012, no. 8. URL: lesprominform.ru/jarticles.html?id=2991.