

**ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА
НА СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ
ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

**THE IMPACT OF PRODUCTION PROCESS ON PROPERTIES
OF THERMAL-INSULATION BOARDS OF VEGETABLE WASTE**

A.A. ТИТУНИН, И.В. СУСОЕВА, Т.Н. ВАХНИНА

A.A. TITUNIN, I.V. SUSOEVA, T.N. VAKHNINA

**(Костромской государственный университет)
(Kostroma State University)**

E-mail: i.susoeva@yandex.ru

Мягкие отходы переработки древесины в основном используются в качестве топлива; невозвратные (неиспользуемые) отходы прядения льна и хлопка сжигаются или отправляются на свалку. Разработка способов использования невозвратных растительных отходов для производства продукции актуальна как с позиций ресурсосбережения, так и с экологической точки зрения.

Предлагается изготавливать из отходов прядения льна и хлопка и мягких отходов переработки древесины теплоизоляционные плиты на термореактивном связующем. В статье представлены результаты определения физико-механических показателей и коэффициента теплопроводности плит, изготовленных из растительных отходов. Исследование проводили по В-плану второго порядка. По результатам обработки экспериментальных данных разработаны регрессионные модели зависимостей показателей плит от факторов процесса производства, построены поверхности отклика.

На основе анализа математических моделей разработаны рекомендации для рациональных параметров производства теплоизоляционных плитных материалов из неиспользуемых (невозвратных) отходов прядения льна и хлопка и мягких отходов переработки древесины.

Soft wood processing waste is mainly used as fuel, irreversible (unused) waste spinning flax and cotton are sent to landfill or incinerated. The development of methods for the use of irreversible vegetable waste for the production of products is relevant both from the standpoint of resource saving and so from an in terms of natural environment.

It is proposed to produce thermal-insulation boards on thermosetting binder from flax and cotton spinning waste and soft wood processing waste. The article presents the results of determining the physical and mechanical properties and the coefficient of thermal conductivity of the boards made from vegetable waste. The study was conducted on the second-order B-plan. According to the results of experimental data processing, regression models were developed for the dependence of plate indicators on factors of the production process, and response surfaces were constructed.

Based on the analysis of mathematical models developed recommendations for the rational parameters of the production of thermal-insulation board materials from unused (irreversible) waste spinning flax and cotton and soft wood processing waste.

Ключевые слова: растительные отходы, лен, хлопок, древесина, композиционные плиты, регрессионная модель, предел прочности, статический изгиб, разбухание по толщине, коэффициент теплопроводности.

Keywords: vegetable waste, flax, cotton, wood, composite boards, regression model, tensile strength, static bending, thickness swelling, coefficient of thermal conductivity.

В процессе переработки растительных материалов, таких как древесина, однолетники – лен, хлопок и др., неизбежно образуются отходы, часть из которых является невозвратными, то есть отправляется в отвал или сжигается. Тот и другой способы утилизации растительных отходов негативно влияют на биосферу. Проблема переработки отходов путем использования для производства продукции актуальна во всем мире. По данным Росприроднадзора в России образуется около 4,5 млн. т в год древесных отходов, и, хотя за последние три года наметилась тенденция к снижению количества древесных отходов, их количество превышает данные 2012 г. [1]. Ежегодно около 1 млн. т древесных отходов в России не используется [2]. Но не только в России, богатой древесными ресурсами, образуется значительное количество неиспользуемых древесных отходов. По данным Статистического бюро Европейского Союза (Евростат) в таких странах, как Германия, Франция, Великобритания и др., ежегодно образуются большие объемы древесных отходов [3], лидером является Германия – около 400 тыс. т [4].

Это обуславливает высокую актуальность работ по утилизации отходов. Традиционно растительные отходы используются в гидролизном производстве [5], [6], с XX в. они используются на топливные нужды [7]. Как за рубежом [8], так и в России прогнозируется дальнейшее увеличение использования древесных отходов в качестве топлива. По данным Минприроды РФ к 2030 г. треть отходов лесопромышленного производства будет перерабатываться в биотопливо [9]. Использование отходов возобновляемых растительных материалов в качестве топлива является положительным с энергетической точки зрения [10], [11], од-

нако данное направление не снижает экологической нагрузки на окружающую среду, обусловленной сжиганием растительных материалов, даже с учетом использования современных технологий карбонизации и газификации растительных отходов [12]. С этой точки зрения более предпочтительными способами переработки растительных отходов являются биоконверсия [13...17] и гидролизное производство [6], [8], [18], [19]. Особенно перспективна переработка растительных отходов с целью получения фенольных соединений, олигосахаридов и полисахаридов с низкой степенью полимеризации [20].

Технический прогресс в области химической и химико-механической переработки растительного сырья позволяет практически использовать почти всю биомассу, однако различные направления переработки имеют разную эффективность. Доля выхода конечной продукции в лесохимическом производстве (целлюлозно-бумажном и гидролизном производстве, в том числе производстве этилового спирта) составляет 62...68%, а в плитном производстве выход продукции доходит до 90% [14]. Технологии производства плитных материалов из мелкодисперсных растительных частиц позволяют использовать различные виды лигноцеллюлозных отходов для изготовления материалов строительного назначения, однако значительные повреждения растительных клеток в отходах [21] затрудняют их использование для производства конструктивных строительных материалов, за исключением материалов на минеральных вяжущих. Существуют разработки в области возврата промышленных отходов изготовления древесно-волоконистых плит (ДВП) в основное производство, однако это, как правило, специальные частицы

(древесное волокно), теряемые с оборотной водой [22] или при форматной обрезке плит [23].

Перспективным направлением для утилизации растительных отходов является производство теплоизоляционных плитных материалов. Традиционным теплоизоляционным материалом являются мягкие ДВП. Т. Tabarsa отмечает, что их производство важно с позиций ресурсосберегающих технологий, но затруднено в европейских странах ввиду ограниченности запасов лесных ресурсов вблизи промышленно освоенных районов, поэтому требует использования альтернативных растительных волокон [24]. Существует много исследований в области производства композиционных материалов из недревесных растительных волокон и отходов, в том числе с комбинированным наполнителем из древесных отходов с добавлением растительных волокон. G. Nan с коллегами [25] и S. Halvarsson и соавторы [26], [27] исследовали показатели древесноволокнистых плит с добавкой пшеницы и тростника на карбамидоформальдегидном (КФС) и меламиноформальдегидном (МФС) связующих. J.E.G. Van Dam и др. использовали в качестве наполнителя композита кокосовое волокно [28], [29]. Существуют разработки композитов из бамбука и рисовой соломы [30]. J. Kanagaraj и соавторы [31] исследовали композиционные материалы из волокна хлопка и кукурузных стеблей. В работе [32] Saad M. J. и Kamal I. исследовали физико-механические показатели композиционных материалов из волокна кенафа с карбамидоформальдегидным связующим.

Широкий спектр исследований по переработке растительных отходов в композиционные материалы свидетельствует об актуальности данного направления разработки теплоизоляционных плит из растительных отходов на терморезактивном связующем. Известны результаты исследований по использованию в производстве компо-

зитов отходов переработки льняного волокна [24], [33]. Однако в отечественной и зарубежной исследовательской практике не отмечено разработок по применению мягких отходов переработки древесины и невозвратных отходов прядения льна и хлопка в качестве наполнителя теплоизоляционных композиционных плитных материалов.

В лаборатории кафедры лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств (КГУ, г. Кострома) разрабатываются теплоизоляционные плитные материалы с наполнителем из древесных отходов и неиспользуемых (невозвратных) отходов производства льняного и хлопкового волокон [34]. Материалом-аналогом являются теплоизоляционные мягкие древесноволокнистые плиты. Композиционный материал изготавливался средней плотностью 375 кг/м^3 . В качестве матрицы использовалось синтетическое карбамидоформальдегидное связующее. Расход КФС варьировался на трех уровнях – 0, 20 и 40% от массы наполнителя. Образцы материала сушились при температуре $100...170 \text{ }^\circ\text{C}$.

Исследования на предыдущем этапе выявили значительный разброс значений показателей разрабатываемых композитов [35]. Для обоснования возможности использования растительных отходов в качестве наполнителя теплоизоляционного плитного материала было оценено соответствие показателей композита физико-механическим и эксплуатационным показателям материала-аналога.

Для разработки моделей зависимостей показателей композитов был использован В-план второго порядка. Варьируемые в эксперименте факторы и их уровни представлены в табл. 1. Выходные величины: Y_1 – прочность при статическом изгибе бн , МПа; Y_2 – разбухание плит по толщине за 24 ч P_h , %, Y_3 – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Т а б л и ц а 1

Наименование фактора	Обозначение фактора		Уровни варьирования			Интервал варьирования, Δ_1
	натуральное	кодированное	-1	0	+1	
Доля добавки связующего, %	$P_{св}$	X_1	0	20	40	20
Температура сушки, $^\circ\text{C}$	$T_{свш}$	X_2	100	135	170	35
Доля добавки отходов древесины, % по массе растительного наполнителя	$D_{др}$	X_3	0	25	50	25

Оценку физико-механических показателей плит проводили в соответствии с ГОСТ 10633–2018 [36]. По результатам обработки экспериментальных данных были получены математические модели показате-

$$Y_1 = 0,34 + 0,06X_1 + 0,03X_2 - 0,02X_3 + 0,01X_1^2 - 0,01X_2^2 + 0,01X_3^2 + 0,01X_1X_2 - 0,01X_1X_3 - 0,01X_2X_3, \quad (1)$$

$$Y_2 = 16,45 - 4,67X_1 - 1,64X_2 + 0,84X_3 - 0,16X_1^2 + 0,11X_2^2 - 0,1X_3^2 + 0,16X_1X_2 + 0,1X_1X_3 + 0,12X_2X_3, \quad (2)$$

$$Y_3 = 0,059 - 0,002X_1 - 0,001X_2 + 0,002X_3 - 0,002X_1^2 - 0,001X_3^2 + 0,001X_1X_3. \quad (3)$$

На рис. 1, 2 представлены поверхности отклика зависимостей выходных величин – прочности плит при статическом изгибе (рис. 1) и разбухания по толщине за 24 ч пребывания в воде (рис. 2) от варьируемых факторов – доли добавки связующего (X_1)

и температуры сушки (X_2). Поверхности отклика на рис. 1-а и 2-а приведены для максимальной доли содержания в наполнителе мягких отходов древесины ($X_3 = +1$), 1-б и 2-б – композитов с наполнителем из отходов прядения льна и хлопка ($X_3 = -1$).

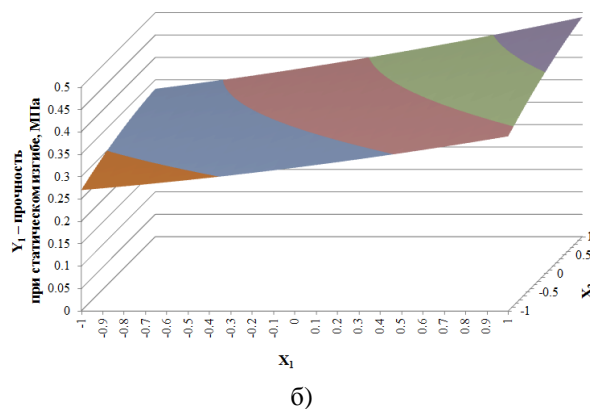
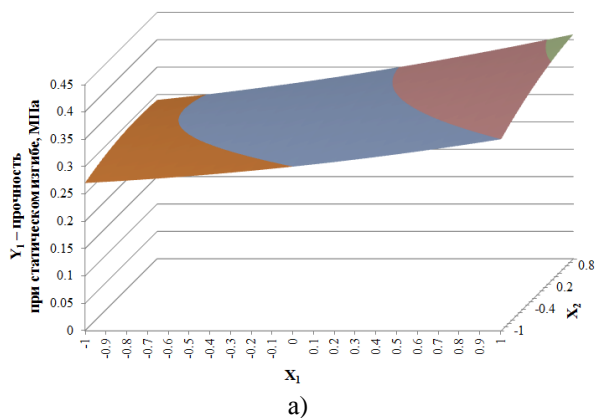


Рис. 1

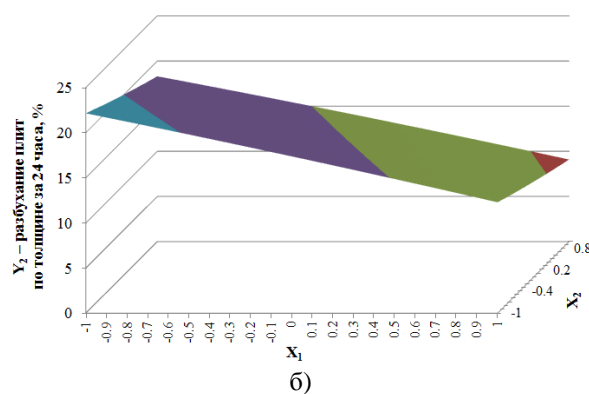
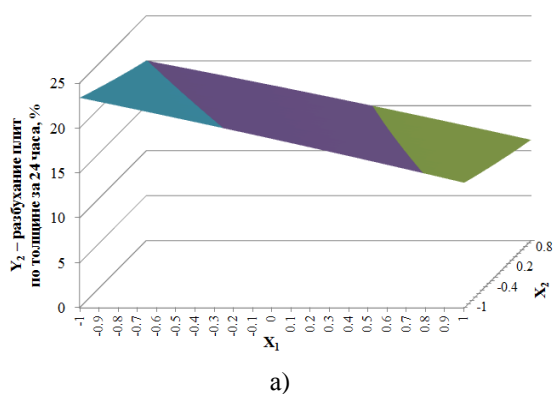


Рис. 2

С увеличением доли добавки КФС прочность композитов растет, и при максимальной доле добавки КФС обеспечивается наибольшая прочность плит, как при минимальной, так и при максимальной темпера-

туре сушки. При этом снижается разбухание композитов по толщине. Это объясняется тем, что увеличивается количество клеевых связей между частицами наполнителя и растет число закрытых пор. С увели-

чением доли добавки мягких отходов древесины прочностные показатели снижаются, ухудшается и водостойкость материала – разбухание композитов по толщине за 24 ч пребывания в воде увеличивается в среднем на 2% при добавке до 50% мягких древесных отходов в наполнитель. Однако при максимальной температуре сушки плит и максимальной доле связующего даже добавка в наполнитель 50% мягких древесных отходов позволяет обеспечить прочность композитов при статическом изгибе, отвечающую нормативным требованиям, предъявляемым к материалу-аналогу – мягким теплоизоляционным ДВП.

В ы в о д ы

1. Для обеспечения необходимых физико-механических показателей композиционного теплоизоляционного материала из растительных отходов рекомендуются разные значения факторов процесса производства в зависимости от состава наполнителя.

2. При использовании в качестве наполнителя только невозвратных отходов льна рекомендуемая температура сушки 170°C, доля добавки КФС не менее 25%.

При использовании комбинированного наполнителя из 50% мягких древесных отходов и 50% отходов прядения льняного волокна необходимо увеличить массовую долю КФС до 40% ввиду увеличения удельной поверхности наполнителя.

При доле добавки КФС 20% и более при любой температуре сушки и максимальной доле добавки мягких отходов древесины коэффициент теплопроводности материала составляет 0,05...0,06 Вт/(м·К), что свидетельствует о высоких теплоизоляционных свойствах материала.

3. Таким образом, данное сочетание технологических факторов можно рекомендовать для производства теплоизоляционных плит на карбамидоформальдегидном связующем с комбинированным наполнителем из мягких отходов древесины и невозвратных отходов прядения льна.

1. Образование отходов производства и потребления по видам экономической деятельности. Электронный ресурс. – Режим доступа: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/oxrana/tabl/oxr_otxod1.xls.

2. Использование и обезвреживание отходов производства и потребления по видам экономической деятельности. Электронный ресурс. – Режим доступа: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/oxrana/tabl/oxr_otxod2.xls.

3. *Carlos A. G., Guido H.* State-of-the-art of waste wood supply chain in Germany and selected European countries – режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/320005202_State-of-the-art_of_waste_wood_supply_chain_in_Germany_and_selected_European_countries

4. Yearbook of Forest products. FAOU N: Rome, 2012.

5. *Кулагин Е.П.* Утилизация попутных продуктов и отходов химической переработки древесины. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2000.

6. *Yengkhom D.S., Kunja B.S.* Conversion of lignocellulosic biomass to bioethanol: an overview with a focus on pretreatment // International Journal of Engineering and Technologies Submitted. – Vol. 15, 2018. P.17...43.

7. *Головков С.И., Коперин И.Ф., Найденов В.И.* Энергетическое использование древесных отходов. – М.: Лесная промышленность, 1987.

8. *Lacrimioara S., Cerasel V., Marius R.* Bioethanol production from wood waste // STUDIA UBB AMBIENTUM, LIX. – Vol. 1–2, 2014. P. 149...154.

9. Электронный ресурс. – Режим доступа: http://www.lesprom.com/ru/news/Минприроды_РФ_к_2030_г_треть_отходов_лесопромышленного_производства_будет_перерабатываться_в_биотопливо_78093/.

10. *Костылева С.В.* Перспективные направления развития лесопромышленного комплекса в сфере переработки древесных отходов в Иркутской области // Сб. научн. ст. XII Междунар. евразийского симпози.: Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. – 2017. С. 10...15.

11. *Шегельман И.Р., Щукин П.О., Морозов М.А.* Место биоэнергетики в топливно-энергетическом балансе лесопромышленного региона // Наука и бизнес: пути развития. – 2011, № 6. С. 151...154.

12. *Lachos-Perez D., Brown A.B., Mudhoo A.* Applications of subcritical and supercritical water conditions for extraction, hydrolysis, gasification, and carbonization of biomass; a critical review // Biofuel Research Journal. – Vol. 4, № 2, 2017. P. 611...626.

13. *Дармов И.В., Гориунова Е.И., Тарасова Т.С.* Исследование природных изолятов микровицетов *fusarium spp.* – продуцентов лигнолитических ферментов // Уч. зап. Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2017. Вып. 159, №1. С.72...84.

14. Мохирев А.П., Безруких Ю.А., Медведев С.О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2015, № 2, Ч. 2. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3011>.
15. Bari M.N., Shashi F.S., Habib M.H. Potential agricultural lignocellulosic waste materials for bioconversion // Proceedings of 3rd International Conference on Advances in Civil Engineering – 2016. P. 630...634.
16. Dulermo T., Coze F., Virolle M. Bioconversion of agricultural lignocellulosic residues into branched-chain fatty acids using *Streptomyces lividans* // OCL. – Vol. 23, № 2, 2016. P.1...8.
17. Shitu A., Izhar S., Tahir T.M. Sub-critical water as a green solvent for production of valuable materials from agricultural waste biomass: A review of recent work // Global J. Environ. Sci. Manage. – Vol. 1(3), 2015. P. 255...264.
18. Медведев С.О., Безруких Ю.А., Мохирев А.П. Перспективы развития гидролизного производства в лесопромышленных центрах Сибири // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015, № 2-1. С. 400...403.
19. Pelaez-Samaniego M.R., Englund K.R. Production of sugars from wood waste materials via enzymatic hydrolysis // Waste Biomass Valor. – Vol. 8, 2017. P.883...892.
20. Khuwijitjaru P. Utilization of plant-based agricultural waste by subcritical water treatment // Japan Journal of Food Engineering. – Vol. 17. №2, 2016. P.33...39.
21. Тутунин А.А., Сусоева И.В., Вахнина Т.Н. Влияние циклических температурно-влажностных воздействий на свойства композитов из растительного сырья // Сб. научн. ст. VI Междунар. симп. имени Б.Н. Уголева, посвященного 50-летию Регионального Координационного совета по современным проблемам лесосиноведения: Строение, свойства и качество древесины. – 2018. С.196...200.
22. Чистова Н. Г. Некоторые вопросы совершенствования использования дополнительного древесного сырья на лесоперерабатывающих предприятиях Ангаро-Енисейского региона // Фундаментальные исследования. – 2004, № 3. С. 122...124.
23. Морозов И.М. и др. Получение древесно-волоконистых плит сухим способом производства, изготовленных с использованием древесно-волоконистых отходов от форматно-обрезных станков // Химия растительного сырья. – 2015, № 4. С. 119...124.
24. Tabarsa T., Jahanshahi S., Ashori A. Mechanical and physical properties of wheat straw boards bonded with a tannin modified phenol-formaldehyde adhesive // Composites Part B: Engineering. – №42(2), 2011. P. 176...180.
25. Han G., Umemura K., Zhang M. Development of high-performance UF-bonded reed and wheat straw medium-density fiberboard // Journal of Wood Science. – V. 47, № 5, 2001. P. 350...355.
26. Halvarsson S., Edlund H., Norgren M. Manufacture of non-resin wheat straw fibreboards // Industrial Crops and Products. –V. 29, № 2, 2009. P. 437...445.
27. Halvarsson S., Edlund H., Norgren M. Properties of medium-density fibreboard (MDF) based on wheat straw and melamine modified urea formaldehyde (UMF) resin //Industrial Crops and Products. – V. 28, №1, 2008. P. 37...46.
28. Van Dam J.E.G., Van Den Oever M.J.A., Keijsers E.R.P. Production process for high density high performance binderless boards from whole coconut husk // Industrial Crops and Products. – V. 20, № 1, 2004. P. 97...101.
29. Glowacki R., Barbu M. C., Van Wijck J. The use of coconut husk in high pressure laminate production // Journal of Tropical Forest Science. – V.24, №1, 2012. P.27...36.
30. Quintana G., Velásquez J., Betancourt S. Binderless fiberboard from steam exploded banana bunch //Industrial Crops and Products. – V. 29, № 1, 2009. P.60...66.
31. Kanagaraj K. C., Velappan N. K., Chandra B. Solid wastes generation in the leather industry and its utilization for cleaner environment // Journal of Scientific & Industrial Research. – V. 65, № 7, 2006. P.541...548.
32. Saad M.J., Kamal I. Mechanical and physical properties of low density kenaf core particleboards bonded with different resins // Journal of Science and Technology. – V. 4, 2012. P. 17...32.
33. Stuarda T., Liub Q., Hughesb M. Structural bio-composites from flax – Part I: Effect of bio-technical fibre modification on composite properties// Composites: Part A. – V. 37, 2006. P. 393...404.
34. Тутунин А.А., Вахнина Т.Н., Сусоева И.В. Исследование свойств теплоизоляционных материалов из отходов производства хлопковых и льняных волокон // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2017, № 2(46). С. 37...45.
35. Тутунин А.А., Вахнина Т.Н., Сусоева И.В. Анализ прочности и водостойкости теплоизоляционных композиционных плит из отходов льняного волокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 5. С. 49...52.
36. ГОСТ 10633–2018. Плиты древесно-стружечные и древесно-волоконистые. Общие правила подготовки и проведения физико-механических испытаний. – М.: Стандартинформ, 2018.

REFERENCES

1. Obrazovanie otkhodov proizvodstva i potrebleniya po vidam ekonomicheskoy deyatel'nosti. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/oxrana/tab1/oxr_otxod1.xls.
2. Ispol'zovanie i obezvrezhivanie otkhodov proizvodstva i potrebleniya po vidam ekonomicheskoy deyatel'nosti. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/oxrana/tab1/oxr_otxod2.xls.
3. Carlos A. G., Guido H. State-of-the-art of waste wood supply chain in Germany and selected European countries – rezhim dostupa: https://www.researchgate.net/publication/320005202_State-of-the-art_of_

waste_wood_supply_chain_in_Germany_and_selected_European_countries

4. Yearbook of Forest products. FAO UN: Rome, 2012.
5. Kulagin E.P. Utilizatsiya poputnykh produktov i otkhodov khimicheskoy pererabotki drevesiny. – N.Novgorod: NNGASU, 2000.
6. Yengkhom D.S., Kunja B.S. Conversion of lignocellulosic biomass to bioethanol: an overview with a focus on pretreatment // International Journal of Engineering and Technologies Submitted. – Vol. 15, 2018. P.17...43.
7. Golovkov S.I., Koperin I.F., Naydenov V.I. Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnykh otkhodov. – M.: Lesnaya promyshlennost', 1987.
8. Lacrimioara S., Cerasel V., Marius R. Bioethanol production from wood waste // STUDIA UBB AMBIENTUM, LIX. – Vol. 1–2, 2014. P. 149...154.
9. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: http://www.lesprom.com/ru/news/Minprirody_RF_k_2_030_g_tret'_otkhodov_lesopromyshlennogo_proizvodstva_budet_pererabatyvat'sya_v_biotoplivo_78093/.
10. Kostyleva S.V. Perspektivnye napravleniya razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa v sfere pererabotki drevesnykh otkhodov v Irkutskoy oblasti // Sb. nauchn. st. XII Mezhdunar. evraziyskogo simpoz.: Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovanie, menedzhment XXI veka. – 2017. S. 10...15.
11. Shegel'man I.R., Shchukin P.O., Morozov M.A. Mesto bioenergetiki v toplivno-energeticheskom balanse lesopromyshlennogo regiona // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2011, № 6. S. 151...154.
12. Lachos-Perez D., Brown A.B., Mudhoo A. Applications of subcritical and supercritical water conditions for extraction, hydrolysis, gasification, and carbonization of biomass; a critical review // Biofuel Research Journal. – Vol.4, № 2, 2017. P. 611...626.
13. Darmov I.V., Gorshunova E.I., Tarasova T.S. Issledovanie prirodnykh izolyatov mikromitsetov fusarium spp. – produtsentov lignoliticheskikh fermentov // Uch. zap. Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki. – 2017. Vyp. 159, №1. S. 72...84.
14. Mokhirev A.P., Bezrukikh Yu.A., Medvedev S.O. Pererabotka drevesnykh otkhodov predpriyatii lesopromyshlennogo kompleksa, kak faktor us-toychivogo prirodepol'zovaniya [Elektronnyy resurs] // Inzhenernyy vestnik Dona. – 2015, № 2, Ch. 2. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3011>.
15. Bari M.N., Shashi F. S., Habib M.H. Potential agricultural lignocellulosic waste materials for bio-conversion // Proceedings of 3rd International Conference on Advances in Civil Engineering – 2016. P.630...634.
16. Dulermo T., Coze F., Virolle M. Bioconversion of agricultural lignocellulosic residues into branched-chain fatty acids using Streptomyces lividans // OCL. – Vol. 23, № 2, 2016. P.1...8.
17. Shitu A., Izhar S., Tahir T.M. Subcritical water as a green solvent for production of valuable materials from agricultural waste biomass: A review of recent work // Global J. Environ. Sci. Manage. – Vol. 1(3), 2015. P. 255...264.

18. Medvedev S.O., Bezrukikh Yu.A., Mokhirev A.P. Perspektivy razvitiya gidroliznogo proizvodstva v lesopromyshlennykh tsentrakh Sibiri // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. – 2015, № 2-1. S. 400...403.

19. Pelaez-Samaniego M.R., Englund K.R. Production of sugars from wood waste materials via enzymatic hydrolysis // Waste Biomass Valor. – Vol. 8, 2017. P. 883...892.

20. Khuwijitjaru P. Utilization of plantbased agricultural waste by subcritical water treatment // Japan Journal of Food Engineering. – Vol. 17. №2, 2016. P.33...39.

21. Titunin A.A., Susoeva I.V., Vakhnina T.N. Vliyaniye tsiklicheskikh temperaturno-vlazhnostnykh vozdeystviy na svoystva kompozitov iz rastitel'nogo syr'ya // Sb. nauchn. st. VI Mezhdunar. simp. imeni B.N. Ugoleva, posvyashchennogo 50-letiyu Regional'nogo Koordinatsionnogo soveta po sovremennym problemam drevesinovedeniya: Stroenie, svoystva i kachestvo drevesiny. – 2018. S.196...200.

22. Chistova N.G. Nekotorye voprosy sovershenstvovaniya ispol'zovaniya dopolnitel'nogo drevesnogo syr'ya na lesopererabatyvayushchikh predpriyatiyakh Angaro-Eniseyskogo regiona // Fundamental'nye issledovaniya. – 2004, № 3. S. 122...124.

23. Morozov I.M. i dr. Poluchenie drevesno-voloknistykh plit sukhim sposobom proizvodstva, izgotovlennykh s ispol'zovaniem drevesno-voloknistykh otkhodov ot formatno-obreznykh stankov // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. – 2015, № 4. S. 119...124.

24. Tabarsa T., Jahanshahi S., Ashori A. Mechanical and physical properties of wheat straw boards bonded with a tannin modified phenol-formaldehyde adhesive // Composites Part B: Engineering. – №42(2), 2011. P. 176...180.

25. Han G., Umemura K., Zhang M. Development of high-performance UF-bonded reed and wheat straw medium-density fiberboard // Journal of Wood Science. – V. 47, № 5, 2001. R. 350...355.

26. Halvarsson S., Edlund H., Norgren M. Manufacture of nonresin wheat straw fibreboards // Industrial Crops and Products. – V. 29, № 2, 2009. P. 437...445.

27. Halvarsson S., Edlund H., Norgren M. Properties of medium-density fibreboard (MDF) based on wheat straw and melamine modified urea formaldehyde (UMF) resin // Industrial Crops and Products. – V. 28, №1, 2008. P. 37...46.

28. Van Dam J.E.G., Van Den Oever M.J.A., Keijsers E.R.P. Production process for high density high performance binderless boards from whole coconut husk // Industrial Crops and Products. – V. 20, № 1, 2004. P. 97...101.

29. Glowacki R., Barbu M. C., Van Wijck J. The use of coconut husk in high pressure laminate production // Journal of Tropical Forest Science. – V.24, № 1, 2012. P. 27...36.

30. Quintana G., Velásquez J., Betancourt S. Binderless fiberboard from steam exploded banana bunch // Industrial Crops and Products. – V. 29, № 1, 2009. P.60...66.

31. Kanagaraj K. C., Velappan N. K., Chandra B. Solid wastes generation in the leather industry and its utilization for cleaner environment // Journal of Scientific & Industrial Research. – V. 65, № 7, 2006. P.541...548.

32. Saad M.J., Kamal I. Mechanical and physical properties of low density kenaf core particleboards bonded with different resins // Journal of Science and Technology. – V. 4, 2012. P. 17...32.

33. Stuarda T., Liub Q., Hughes M. Structural biocomposites from flax – Part I: Effect of biotechnical fibre modification on composite properties // Composites: Part A. – V. 37, 2006. P. 393...404.

34. Titunin A.A., Vakhnina T.N., Susoeva I.V. Issledovanie svoystv teploizolyatsionnykh materialov iz otkhodov proizvodstva khlopkovykh i l'nyanykh volo-

kon // Nauchnyy zhurnal stroitel'stva i arkhitektury. – 2017, № 2(46). S. 37...45.

35. Titunin A.A., Vakhnina T.N., Susoeva I.V. Analiz prochnosti i vodostoykosti teploizolyatsionnykh kom-pozitsionnykh plit iz otkhodov l'nyanogo volokna // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 5. S. 49...52.

36. GOST 10633–2018. Plity drevesno-struzhechnye i drevesno-voloknistye. Obshchie pravila podgotovki i provedeniya fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy. – M.: Standartinform, 2018.

Рекомендована кафедрой лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств. Поступила 01.04.19.
