

УДК 674.81

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ЛЕСОПАРКОВЫХ ЗОН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТИКОВ БЕЗ ДОБАВЛЕНИЯ СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

А.С. ЕРШОВА – магистр по специальности «Химическая технология» (18.04.01)*

А.В. САВИНОВСКИХ – доцент кафедры ТЦБПиПП*

А.В. АРТЁМОВ – доцент кафедры ТЦБПиПП*

В.Г. БУРЫНДИН – профессор кафедры ТЦБПиПП*

* ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
тел.: 8 (343) 262-97-62,
e-mail: vgb@usfeu.ru

Ключевые слова: *древесный пластик, растительный пластик, древесные отходы, растительные отходы, опавшая листва, утилизация.*

Исследована возможность получения пластика без добавления связующего на основе древесных отходов (древесного опила) и растительных отходов (опавших листьев лесопарковых зон) методом плоского горячего прессования в закрытых пресс-формах. Предварительно было исследовано содержание лигнина, целлюлозы и золы в исходном пресс-материале. Высокое содержание лигнина в опавшей листве позволяет говорить о возможности ее применения в качестве добавки к наполнителю для получения пластика без связующего. Для исследования свойств ДП-БС, полученных на основе древесных отходов (древесный опил) и отходов лесопарковых зон (опавшая листва), была составлена матрица планирования двухфакторного эксперимента. В качестве независимых факторов были использованы процентное содержание листвы и гранулометрический состав исходной пресс-композиции. За выходные параметры были приняты прочностные показатели и показатели по водостойкости получаемого материала. Оценены физико-механические свойства полученных пластиков. Наилучшие физико-механические свойства по прочности при изгибе были выявлены у пластика на основе древесного опила и опавших листьев фракцией 0,7 мм и процентным содержанием 10%. Наилучшие физико-механические свойства по водостойкости были выявлены у пластика на основе древесного опила и опавших листьев фракцией 1,4 мм и процентным содержанием 30%. Найдены регрессионные зависимости свойств древесного и растительного пластика от содержания в нем опавшей листвы. По полученным уравнениям регрессии были построены поверхности отклика изученных свойств от величины варьируемых факторов. Определено оптимальное содержание опавших листьев и древесного опила, позволяющее получать материал с приемлемыми технологическими свойствами исходя из условий наименьшего (минимального) водопоглощения (содержание опавшей листвы в композиции – 30%) и наибольшей (максимальной) прочности при изгибе (содержание опавшей листвы – 10%). Для доказательства полученных теоретических условий прессования ДП-БС с рациональными физико-механическими свойствами был проведен эксперимент при этих условиях. Полученные теоретические результаты показывают хорошую сходимость рассчитанных и экспериментальных данных.

THE USE OF WASTE FOREST AREAS FOR PRODUCTION OF PLASTICS WITHOUT THE ADDITION OF BINDERS

A. S. YERSHOVA – master's degree in «Chemical technology»*

A. V. SAVINOVSKIИ – candidate of engineering sciences, associate professor*

A.V. ARTYOMOV – candidate of engineering sciences, associate professor*

V. G. BRYNDIN – doctor of engineering sciences*

* FSBEI HE «Ural State Forestry University»,
620100, Russia, Yekaterinburg, Siberian tract, 37
phone: 8 (343) 262-97-62,
e-mail: vgb@usfeu.ru

Keywords: *wood plastic, plant plastic, wood waste, plant waste, fallen leaves, recycling*

The possibility of obtaining plastic without adding a binder on the basis of wood waste (sawdust) and plant waste (fallen leaves of the forest park zones) by flat hot pressing in closed molds, was investigated. Previously, the content of lignin, cellulose and ash in the initial press material was studied. The high content of lignin in fallen leaves suggests the possibility of their use as an additive to the filler for the production of plastic without a binder. To study the properties of WR-WP obtained on the basis of wood waste (sawdust) and forest park waste (fallen leaves), a two-factor experiment planning matrix was compiled. As independent factors, the percentages of foliage and granulometric composition of the original press composition were used. For the output parameters were adopted: strength indicators and indicators of water resistance of the resulting material. Physical and mechanical properties of the obtained plastics are estimated. The best physical and mechanical properties for bending strength were found in plastic based on sawdust and fallen leaves with a fraction of 0.7 mm and a percentage of 10 %. The best physical and mechanical properties for water resistance were found in plastic based on sawdust and fallen leaves with a fraction of 1.4 mm and a percentage of 30 %. Regression dependences of properties of wood and vegetable plastic on the content of fallen leaves in it are found. According to the obtained regression equations, the response surfaces of the studied properties on the magnitude of the varied factors were constructed. The optimal content of fallen leaves and sawdust was determined, allowing to obtain a material with acceptable technological properties, based on the conditions of the lowest (minimum) water absorption (the content of fallen leaves in the composition – 30 %) and the highest (maximum) bending strength (the content of fallen leaves – 10 %). To prove the obtained theoretical conditions of pressing the production of DP-BS with rational physical and mechanical properties, an experiment was conducted under these conditions. The obtained theoretical results show good convergence of the calculated and experimental data.

Введение

В настоящее время существует проблема утилизации древесных и растительных отходов. Практически в каждом производственном процессе наряду с получением основной продукции неизменно образуются остатки сырья и материалов, так называемые «отходы производства».

Федеральным законодательством регламентируются как один из принципов государственной политики в области охраны окружающей среды использование вторичных ресурсов и комплексная переработка материально-сырьевых ресурсов в целях уменьшения количества отходов [1].

Опавшие листья (отходы лесопарковых зон) относятся к группе коммунальных отходов (ТКО) – «Мусор и смет от уборки парков, скверов, зон массового отдыха, набережных, пляжей и других объектов благоустройства (код по ФККО 7 3 1 2 00 0 2 72 5)».

Действующим законодательством в области обращения

с ТКО в первую очередь регламентируется сокращение образования отходов за счет их утилизации.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, как важно найти пути рационального использования неликвидных отходов лесной и сельскохозяйственной промышленности, лесопарковых зон.

Отходы древесины, получаемые в процессе проведения рубок ухода, могут быть использованы на месте для изготовления малых архитектурных форм [2]. Кроме того, лесосечные отходы могут стать сырьём для изготовления древесной щепы, используемой для получения электроэнергии [3].

Работами [4–9] показана возможность получения изделий прессованием из мелких отходов деревообработки и сельского хозяйства без добавления синтетических смол или минеральных связующих, т. е. в качестве пресс-материала используется древесная или растительная прессовочная масса без связующего (ДП-БС и РП-БС).

Альтернативным сырьём для получения ДП-БС и РП-БС могли бы выступать отходы лесопарковых зон, представленные опавшими листьями.

Цель, задача, методика и объекты исследования

С учетом вышеизложенного в данной работе была поставлена разносторонняя цель – получить и исследовать свойства полимерного композита на основе древесных и растительных

отходов (на примере опавших листьев).

Для достижения данной цели потребовалось решить следующие задачи:

- 1) определение лигнина, целлюлозы и золы в растительных и древесных отходах;
- 2) определение физико-механических свойств полученного полимерного композита;

3) выбор оптимальной рецептуры, обеспечивающей наилучшие эксплуатационные свойства композита.

Получение ДП-БС и РП-БС обусловливается наличием лигнина в исходном материале [10–12]. Предварительно было исследовано содержание лигнина, целлюлозы и золы в исходном пресс-материале [13]. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Химический состав опавших листьев
Chemical composition of fallen leaves

Исходное сырье Feedstock	Содержание, % Percentage, %		
	Лигнин Lignin	Целлюлоза Cellulose	Зола Ash
Опавшие листья Fallen leaves	35	11	19
Древесный опил Sawdust	27	38	0,3

Высокое содержание лигнина в опавшей листве позволяет говорить о возможности её применения в качестве добавки к наполнителю для получения пластика без связующего.

Для исследования свойств ДП-БС, полученных на основе древесных отходов (древесный опил) и отходов лесопарковых зон (опавшая листва), была составлена матрица планирования двухфакторного эксперимента [14].

Методом горячего прессования были изготовлены образцы-диски ДП-БС диаметром 90 мм и

толщиной 2 мм методом плоского горячего прессования в закрытых пресс-формах. Режимы изготовления образцов: давление прессования – 40 МПа, температура прессования – 170–180 °С, время прессования – 10 мин и охлаждения под давлением – 10 мин, время кондиционирования – 24 ч.

Область изменения входных факторов представлена в табл. 2.

Матрица эксперимента с кодированными и натуральными значениями факторов представлена в табл. 3.

Для получения экспериментально-статистических моделей свойств ДП-БС средствами программы Microsoft Excel был проведен регрессионный анализ полученных результатов эксперимента с вероятностной оценкой адекватности полученных моделей экспериментальным данным [15].

Экспериментально-статистические модели зависимости свойств представлялись в виде полинома второй степени с линейными и смешанными эффектами факторов:

$$y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_1 Z_2 + b_4 Z_1 Z_1 + b_5 Z_2 Z_2,$$

где b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 – коэффициенты уравнения для входных факторов;

Z_1, Z_2 – кодированные значения входных факторов.

В результате регрессионного анализа были получены следующие адекватные уравнения регрессии и коэффициенты их корреляции с экспериментальными данными:

$$Y(P) = 754 + 14,9Z_1 + 281,4286Z_2 - 10Z_1Z_2 (R_2=1);$$

$$Y(T) = 53,85 - 0,923Z_1 - 6,02143Z_2 + 0,7521Z_1Z_2 (R_2 = 1);$$

$$Y(B) = 77 + 0,1Z_2 + 27,8571Z_2 + 0,2142Z_1Z_2 (R_2 = 1);$$

$$Y(П) = 15,945 - 0,0855Z_1 - 4,9928Z_2 + 0,015Z_1Z_2 (R_2 = 1).$$

По полученным уравнениям регрессии были построены поверхности отклика изученных свойств от величины варьируемых факторов, представленные на рис. 1–4.

Таблица 2
Table 2

Области изменения входных факторов
Areas of inputs change

Параметр Parameter	Z_i	Значение параметра Value of parameter	
		min (-1)	max (+1)
Массовая доля опавшей листвы, % Mass fraction of fallen leaves, %	Z_1	10	30
Фракционный состав пресс-материала, мм Fractional composition of the press material, mm	Z_2	0,7	1,4

Таблица 3
Table 3

Матрица планирования эксперимента с натуральными значениями факторов
Experiment planning matrix with natural values of factors

№	Кодированные значения факторов Encoded values of factor		Натуральные значения факторов Natural values of factors	
	X_1	X_2	Z_1	Z_2
1	1	1	30	1,4
2	1	-1	30	0,7
3	-1	1	10	1,4
4	-1	-1	10	0,7

За выходные параметры Y приняты: плотность (P , г/см³), прочность при изгибе ($П$, МПа), твердость (HB , МПа), водопоглощение (B), ударная вязкость (A , кДж/м²).

Результаты исследования и их обсуждение

Средние арифметические значения физико-механических свойств образцов полученных композитов приведены в табл.4.

Таблица 4
Table 4

Физико-механические свойства ДП-БС
Physical and mechanical properties of WR-WP

№	$Y(P)$	$Y(П)$	$Y(HB)$	$Y(B)$	$Y(A)$
1	1070	7,2	43,5	127	1,00
2	1157	10,2	32,1	101	1,24
3	1187	8,3	102,0	181	0,96
4	1025	11,7	41,0	101	1,41

Высокая плотность (см. рис. 1) получаемого материала обусловлена в первую очередь фракционным составом пресс-материала. Более мелкие частицы облада-

ют значительной относительной уплотненностью в процессе прессования. Процентное содержание листвы в пресс-материале также приводит к увеличению

плотности получаемого материала. Это, скорее всего, в первую очередь связано с пластической их деформацией в процессе прессования.

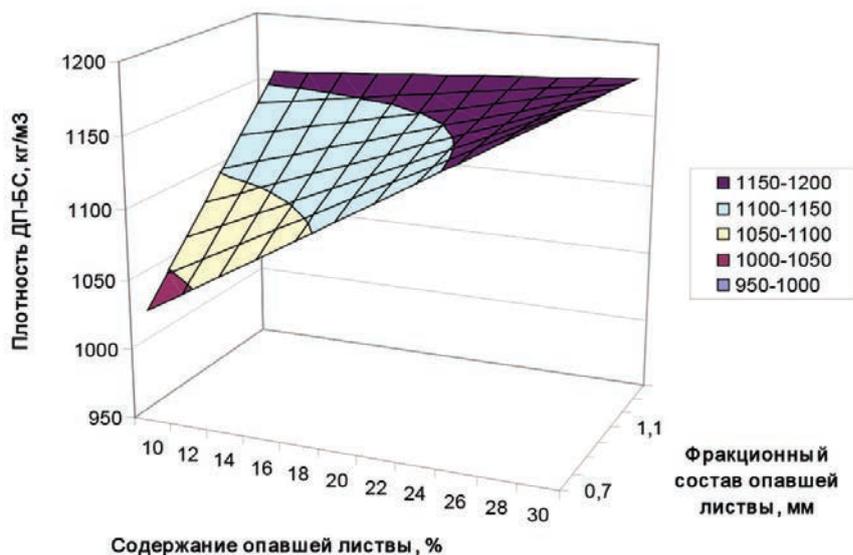


Рис. 1. Поверхность зависимости плотности ДП-БС от содержания опавшей листвы и ее фракционного состава
 Fig. 1. Density of WR-WP in terms of percentage concentration of leaves and their fractional composition

Прочность при изгибе (см. рис. 2) закономерно и сильно (на 42 %) снижается с увеличением содержания в композиции опав-

шей листвы. Это можно объяснить тем, что опавшая листва характеризуется упругостью, которая обусловлена структурной

гибкостью листа. Гибкость листа обусловлена наличием в нем жилок, позволяющих ему обладать высокой пластичностью.

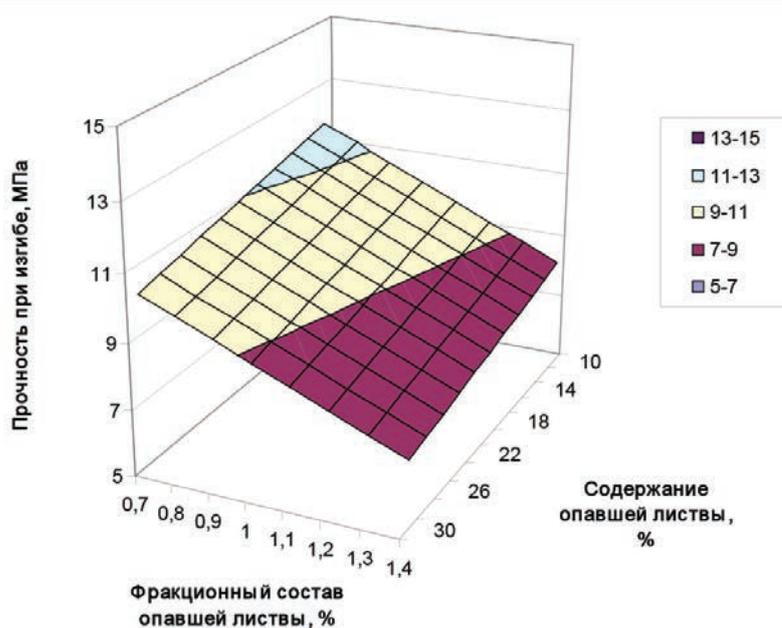


Рис. 2. Поверхность зависимости прочности при изгибе ДП-БС от содержания опавшей листвы и ее фракционного состава
 Fig. 2. Resistance to bending of WR-WP in terms of percentage concentration of leaves and their fractional composition

Максимальный показатель твердости (см. рис. 3) проявляется в точке при максимуме содержания в пресс-композиции опавшей листвы и максимальном фракционном составе.

Это объясняется тем, что наличие большего содержания листвы и больших ее фрагментов обуславливает создание поверхности образцов ДП-БС, аналогичных структуре поверхности листа.

В свою очередь, поверхность листа характеризуется наличием воскового налета, который в процессе прессования переходит в более жесткую структуру.

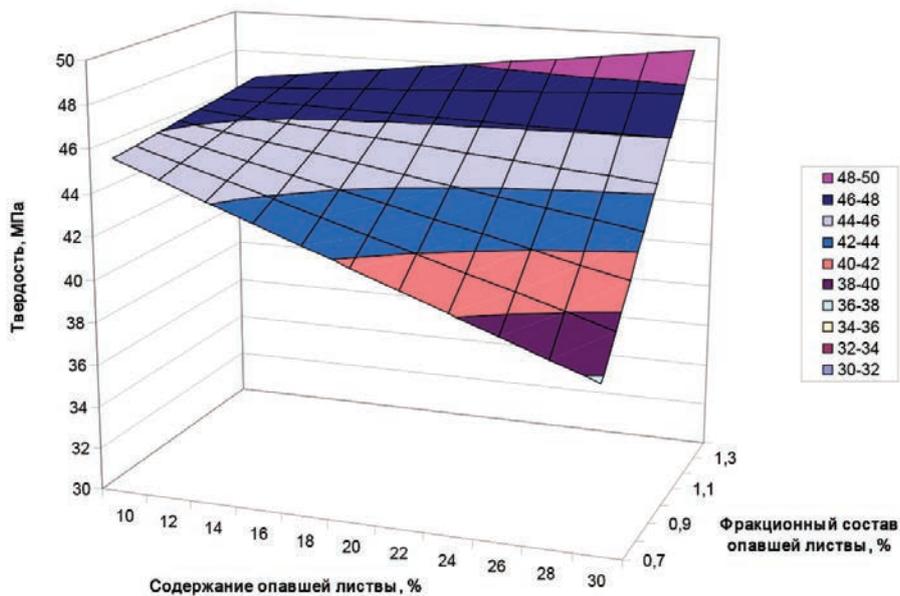


Рис. 3. Поверхность зависимости твердости ДП-БС от содержания опавшей листвы и ее фракционного состава
 Fig. 3. Hardness of WR-WP in terms of percentage concentration of leaves and their fractional composition

Изменение водопоглощения (см. рис. 4) имеет четко выраженную закономерность, частично напоминающую изменение прочности при изгибе, только

полностью наоборот. С ростом содержания опавших листьев и увеличением фракционного состава пресс-материала водопоглощение стабильно растет.

Вероятнее всего, это связано с наличием полярных и гидрофильных соединений (целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин) в её составе.

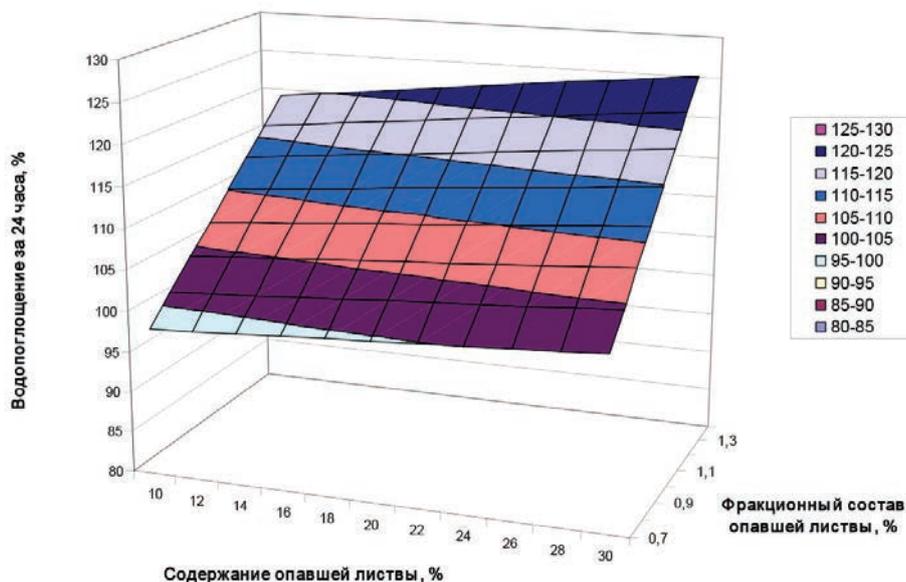


Рис. 4. Поверхность зависимости водопоглощения ДП-БС от содержания опавшей листвы и ее фракционного состава
 Fig. 4. Water absorption of WR-WP in terms of percentage concentration of leaves and their fractional composition

Исходя из анализа данных поверхностей и решений систем уравнений, используя средства ПП «Microsoft Excel» [13], подобрали оптимальную рецептуру получения образцов ДП-БС на основе древесного опила и опавшей листвы в соответствии с условиями наименьшего (минимального) водопоглощения и наибольшей (максимальной) прочности при изгибе.

В качестве целевых функций были приняты:

$$Y(B) = 77 + 0,1Z_2 + 27,8571Z_2 + 0,2142Z_1Z_2 (R_2 = 1);$$

$$Y(I) = 15,945 - 0,0855Z_1 - 4,9928Z_2 + 0,015Z_1Z_2 (R_2 = 1).$$

Расчетная оптимальная рецептура пресс-материала для получения ДП-БС с добавлением опавших листьев представлена в табл. 5.

Для доказательства полученных теоретических условий прессования ДП-БС с рациональными физико-механическими свойствами был проведен эксперимент при этих условиях. Для этого были получены образцы-диски ДП-БС при оптимальной рецептуре (см. табл. 5). Результаты представлены в табл. 6.

Таблица 5
Table 5

Расчетная оптимальная рецептура
The calculated optimum compounding

№ п/п	Параметры	y(B) → min	y(I) → max
1	Массовая доля опавшей листвы, % Mass fraction of fallen leaves, %	30	10
2	Фракционный состав пресс-материала, мм Fractional composition of the press material, mm	1,4	0,7

Таблица 6
Table 6

Физико-механические свойства ДП-БС, полученного при оптимальной рецептуре
Physical and mechanical properties of WR-WP produced with optimal formulation

№ п/п	Показатель Indicator	Расчётные значения Calculated values		Экспериментальные значения Experimental value	
		при y(B) → min	при y(I) → max	при y(B) → min	при y(I) → max
1	Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	1030	1175	1115	1174
2	Прочность при изгибе, МПа Resistance to bending	7,7	11,7	10,7	15,3
3	Твердость, МПа Hardness, MPa	45,7	24,1	58,5	79,2
4	Водопоглощение, % Water absorption	99	128	68	73

По результатам выполненной работы показана возможность получения ДП-БС на основе древесного опила и опавшей листвы методом плоского горячего прессования в закрытых пресс-формах, не уступающего по физико-механическим свойствам материалам, полученным из древесного пресс-сырья.

Заключение

Исследованы физико-механические свойства ДП-БС на основе древесных и растительных отходов на примере опавших листьев.

Наилучшие физико-механические свойства по прочности при изгибе были выявлены у пластика на основе древесного опила

и опавших листьев фракцией 0,7 мм и процентным содержанием 10 %.

Наилучшие физико-механические свойства по водостойкости были выявлены у пластика на основе древесного опила и опавших листьев фракцией 1,4 мм и процентным содержанием 30 %.

Библиографический список

1. Указ Президента Российской Федерации «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» от 19.04.2017 № 176. URL: <http://www.docs.cntd/document>
2. Using the wood from improvement felling for assembling small wooden structures / S. Zalesov, B. Damary, Y. Vetoshkin, N. Pryadilina, A. Opletaev // Increasing the use of wood in the Global bio-economy: 2-th International Scientific conference Wood EMA, 2018 P. 369–373.
3. Vukovic N., Zalesov S., Vukovic D. Bioenergy based on woodchips as the development driver of non-urban forested areas – the case study of Ural region, Russia // Journal of Urban and regional analysis. Vol. IX, 1. 2017. P. 73–85.
4. Минин А.Н. Технология пьезотермопластиков. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 296 с.
5. Плитные материалы и изделия из древесины и других одревесневших остатков без добавления связующих / В.Н. Петри [и др.]. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 360 с.
6. О получении древесного пластика без связующего / Н.Я. Солечник [и др.] // Деревообр. пром-сть. 1963. Вып. 3. С. 9–11.
7. Гравитис Я.А. Теоретические и прикладные аспекты метода взрывного автогидролиза растительной биомассы: (Обзор) // Химия древесины. 1987. № 5. С. 3–21.
8. Савиновских А. В. Получение пластиков из древесных и растительных отходов в закрытых пресс-формах: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Савиновских Андрей Викторович. Екатеринбург, 2015. 20 с.
9. Артёмов А. В. Разработка технологии получения изделий экструзией из древесных отходов без добавления синтетических связующих: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Артёмов Артём Вячеславович. Екатеринбург, 2010. 16 с.
10. Савиновских А.В., Артемов А.В., Бурындин В.Г. Закономерности образования древесных пластиков без добавления связующих с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии // Вестник Казан. технол. ун-та. 2012. Т. 15. № 3. С. 37–40.
11. Изучение получения древесных и растительных пластиков без связующих в присутствии катализаторов типа полиоксометаллатов / В.Г. Бурындин, Л.И. Бельчинская, А.В. Савиновских, А.В. Артёмов, П.С. Кривоногов // Лесотехн. журн. 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 128–134.
12. Buryndin V.G., Artemov A.V., Savinovskih A.V. Mathematical Modeling of Bioactivation Process for Wood Raw Materials // CEUR Workshop Proceedings. Сер. «CSASE 2018 – Proceedings of the Annual Scientific International Conference on Computer Systems, Applications and Software Engineering» 2018. Nizhniy Tagil, 2018.
13. Оболенская А. В., Ельницкая З. П., Леонович А. А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учеб. пособие для вузов. М.: Экология, 1991. 320 с.

14. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. М.: Высш. шк., 1985. 349 с.
15. Курицкий Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0. СПб.: BHV – Санкт-Петербург, 1997. 384 с.

Bibliography

1. Decree of the President of the Russian Federation «on the Strategy of environmental safety of the Russian Federation for the period up to 2025» dated 19.04.2017 № 176. URL: <http://www.docs.cntd/document>
 2. Using the wood from improvement felling for assembling small wooden structures / S. Zalesov, B. Damary, Y. Vetoshkin, N. Pryadilina, A. Opletaev // Increasing the use of wood in the Global bio-economy: 2-th International Scientific conference Wood EMA, 2018 P. 369–373.
 3. Vukovic N., Zalesov S., Vukovic D. Bioenergy based on woodchips as the development driver of non-urban forested areas – the case study of Ural region, Russia // Journal of Urban and regional analysis. Vol. IX. 1. 2017. P. 73–85.
 4. Minin A. N. Technology piezothermoelastic. Moscow: Forest industry, 1965. 296 p.
 5. Board materials and products from wood and other wood residues without the addition of binders / V. N. Petri [and others]. Moscow: Forest industry, 1976. 360 p.
 6. About getting wood without plastic binders / N.I.Solechnik [et al.] // Wood industry. 1963. Vol. 3. P. 9–11.
 7. Gravitis J. A. Theoretical and applied aspects of the method explosive autohydrolysis plant biomass (Review) // Chemistry of wood. 1987. No. 5. P. 3–21.
 8. Savinovskih A. V. Preparation of plastics from wood and vegetable waste in closed molds: author. dis. ... kand. tech. sciences / Savinovskih Andrey Viktorovich. Yekaterinburg, 2015. 20 p.
 9. Development of technology for the production of products from wood waste without the addition of synthetic binders. dis. ... kand. tech. sciences / Artyomov Artyom Vyacheslavovich. Yekaterinburg, 2010. 16 p.
 10. Savinovskih A.V., Artyomov A. V., Bryndin V. G. Regularities of wood laminates without the addition of a binder using differential scanning calorimetry // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2012. Vol. 15. № 3. P. 37–40.
 11. The Study of the wood and plant plastics without binding in the presence of catalysts of the type polyoxometallates / V.G. Burundi, L. I. Belchinskaya, A. V. Savinovskih, A. V. Artyomov, P.S. Krivonogov // Journal of Forestry. 2018. Vol. 8. No. 1 (29). P. 128–134.
 12. Buryndin V. G., Artemov A. V., Savinovskih A. V. Mathematical Modeling of Bioactivation Process for Wood Raw Materials // CEUR Workshop Proceedings. Ser. «CSASE 2018-Proceedings of the Annual Scientific International Conference on Computer Systems, Applications and Software Engineering» 2018. Nizhny Tagil, 2018.
 13. Obolenskaya A.V., Elnitskaya S. P., Leonovich A. A. Laboratory work on chemistry of wood and cellulose: textbook for universities. M.: Ecology, 1991. 320 p.
 14. Akhnazarova, S. L., Kafarov V. V. Methods of experiment optimization in chemical technology. M.: Higher school, 1985. 349 p.
 15. Kuritskiy B. Ya. The Search for optimal solutions by means of Excel 7.0. SPb.: VNV-St. Petersburg, 1997. 384 p.
-
-