

Исследование возможности получения теплоизоляционных древесно-композиционных материалов на основе отходов деревообрабатывающих производств

Н.П. Плотников^a, И.Н. Челышева^b

Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^a n-plotnikov@mail.ru, ^b irinachelysheva@yandex.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-9729-0886>, ^b <https://orcid.org/0000-0003-1017-5149>

Статья поступила 12.04.2022, принята 06.05.2022

На всех этапах технологического процесса лесозаготовок и деревообработки образуются отходы различного вида и качества, которые отличаются физико-механическими и химическими свойствами и делятся на кусковые, мелкие, кору и древесную зелень. Необходимость полного использования древесного сырья обусловлена экономическими интересами, задачами охраны окружающей среды, удовлетворением потребности в продуктах переработки древесины. Кроме того, проблемы комплексного и рационального использования древесного сырья связаны с ростом объемов лесозаготовок и ограниченностью лесных ресурсов, развитием химической и химико-механической переработки древесины, использующей всю массу дерева. Полученные результаты направлены на поиск путей возможного использования отходов деревообрабатывающих производств — опилок, коры лиственницы. Проведены эксперименты по получению теплоизоляционных и декоративных плитных материалов на синтетическом связующем с использованием в качестве заполнителя отходов деревообрабатывающих производств различного дисперсного состава. Несмотря на попытки решения указанной проблемы, огромное количество отходов лесопильно-деревообрабатывающих производств (опилок, стружек, коры) сжигается либо вывозится на свалку, загрязняя окружающую среду. Положительным примером комплексного использования древесины является организация производств по переработке древесных отходов с получением продукции с высокими потребительскими качествами. В данной работе предложено использовать в качестве минерального связующего алуминатный цемент вместо дорогостоящих и дефицитных магнезита и бисшофита, используемых по предлагаемой ВНИИДревом технологии производства композиционного бруса.

Ключевые слова: отходы деревообработки; утилизация; кора; лиственница; древесные композиционные материалы.

Study of the possibility of obtaining heat-insulating wood-composite materials based on waste from woodworking industries

N.P. Plotnikov^a, I.N. Chelysheva^b

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^a n-plotnikov@mail.ru, ^b irinachelysheva@yandex.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-9729-0886>, ^b <https://orcid.org/0000-0003-1017-5149>

Received 12.04.2022, accepted 06.05.2022

At all stages of the technological process of logging and woodworking, wastes of various types and qualities are generated, which differ in physical, mechanical and chemical properties and are divided into lumpy, small, bark and tree greens. The need for the full use of wood raw materials is due to economic interests, the tasks of environmental protection, and the satisfaction of the need for wood processing products. In addition, the problems of the integrated and rational use of wood raw materials are associated with an increase in logging and limited forest resources, the development of chemical and chemical-mechanical processing of wood, using the entire mass of wood. The results obtained are aimed at finding ways for the possible use of waste from woodworking industries: sawdust, larch bark. Experiments have been carried out to obtain heat-insulating and decorative board materials on a synthetic binder, using woodworking waste of various dispersed compositions as a filler. Despite attempts to solve the above problem, a huge amount of waste from sawmilling and woodworking industries (sawdust, shavings, bark) is burned or dumped, polluting the environment. A positive example of the integrated use of wood is the organization of production for the processing of wood waste with the production of products with high consumer qualities. In this paper, it is proposed to use aluminat cement as a mineral binder, instead of expensive and scarce magnesite and bischofite, used according to the technology for the production of composite timber proposed by CJSC "VNIIDrev".

Keywords: woodworking waste; recycling; bark; larch; wood composite materials.

Введение. На территории нашей страны находится четвертая часть запасов древесины всей планеты. Тем не менее, использование древесного сырья при существующем уровне технологии переработки находится на

низком уровне. Выпуск товарной продукции с 1 м³ вывезенной древесины составляет в среднем от 18 до 50 %. Причем в готовых изделиях используется только 45–50 % общего объема заготавливаемого сырья. Пере-

рабатываются в основном деловая древесина и дрова. Отходы лесосеки — сучья, вершины, сухостойные деревья, валежник, пни, корни — не вывозятся. На сбор и утилизацию этих отходов требуются дополнительные финансовые и трудовые ресурсы. Практически не используется кора.

С постоянным ростом объемов переработки древесины практически во всех регионах страны и истощением лесосырьевой базы проблема комплексного и рационального использования сырья становится особенно актуальной. Уровень комплексного использования древесного сырья в промышленности в значительной степени зависит от эффективности использования древесных отходов.

В производстве Братского и Усть-Илимского лесопромышленных комплексов эта проблема частично решается путем переработки крупных кусковых отходов различных производств (лесопильно-деревообрабатывающих, фанерных) в щепу и использования последней в производстве целлюлозы, древесноволокнистых и древесно-стружечных плит.

Методы исследования. Цель проведенных исследований — разработка и получение древесных композиционных материалов на основе отходов деревообрабатывающих производств и минеральных вяжущих.

Для сравнения физико-механических характеристик материала, полученного на основе алюминатного цемента, предусматривалось изготовление материала (композиционного бруса) на основе бишофита и магнетита по рецептуре, предложенной ВНИИДревом. Магнетит (MgO) предполагалось использовать в виде порошка, бишофит ($MgCl_2$) — в виде насыщенного водного раствора при $20\text{ }^{\circ}C$, используемого для отверждения магнетита. В соответствии с поставленной задачей в качестве переменных факторов при планировании эксперимента априорно выбраны массовое соотношение основного материала и связующего, а также влажность смеси получаемого материала.

В качестве основного материала в исследовании использовались сосновые опилки влажностью 12 % с фракционным составом, определяемым путем просыпания их через сито с отверстиями диаметром 3 мм и удержании на сите с диаметром отверстий 2 мм.

В качестве связующих использовались:

- 1) алюминатный цемент — порошок серого цвета;
- 2) магнетит — порошок краснокирпичного цвета (68 %) и насыщенный раствор бишофита (32 %).

Вследствие невозможности организации в лабораторных условиях горячего прессования смеси методом экструзии были предложены следующие условия получения конструкционного материала: температура воздуха в помещении $20\pm 2\text{ }^{\circ}C$; влажность воздуха — 60–70 %; давление прессования — 9 МПа; продолжительность термостатирования запрессованных образцов при температуре 70° — 60 мин; плотность материала — $1000\text{--}1200\text{ кг/м}^3$. Наряду с переменными факторами (соотношением компонентов «алюминатный цемент – опилки» и влажностью опилок) для оценки влияния продолжительности выдержки получаемого материала перед испытанием на прочность последнего предполагалось определение прочностных показателей образцов через 3 и 10 суток после их прессования.

Исходя из заданной средней плотности конструкционного строительного материала, осуществлялся расчет навесок опилок с учетом их начальной влажности, а также навески бишофита и магнетита. После чего опилки тщательно перемешивались с магнетитом, а затем в смесь добавлялось расчетное количество водного раствора бишофита. Полученную смесь после загрузки в пресс-форму предусматривалось прессовать под давлением $P = 9\text{ МПа}$ до получения образца высотой 30 мм. Для сжатия смеси в пресс-форме использовалась разрывная машина Р-5. После сжатия смеси в пресс-форме сечением матрицы $20\times 20\text{ мм}$ осуществлялась фиксация Пуансона специальными винтовыми стяжками. В таком виде запрессованный материал помещался в термостат с температурой $70\pm 2\text{ }^{\circ}C$ на 60 мин. После требуемой выдержки и охлаждения пресс-формы готовый образец выдерживался в эксикаторах в течение 3 и 10 суток, а затем испытывался на сжатие в разрывной машине Р-5.

Результаты исследований. В условиях Восточной Сибири с ее богатейшей лесосырьевой базой интенсивно растет число предприятий, производственная деятельность которых связана с лесопилением. Неизбежным спутником технологического процесса распиловки сырья являются древесные отходы различного размерного качественного состава: твердые кусковые отходы и мягкие сыпучие отходы (опилки, стружка, пылевые частицы). Наиболее реальные направления утилизации мелкодисперсных древесных частиц — их использование в качестве органических заполнителей в производстве древесно-композиционных материалов (ДКМ) строительного, декоративного, теплоизоляционного или звукоизоляционного назначения. В качестве матрицы при производстве ДКМ применяются синтетические полимеры, в работе использована карбамидоформальдегидная смола. В качестве древесного заполнителя в исследованиях использовались опилки лиственницы с корой и опилки без коры.

Серия экспериментов была проведена с целью определения влияния количества связующего (интервал варьирования 40–20 %) и наличия коры в древесно-композиционных материалах на их физико-механические показатели. Наличие коры (до 50 %) влияет на физико-механические показатели. Присутствие коры снижает прочность на изгиб, но не оказывает значительного влияния на предел прочности при сжатии и водопоглощение. Уменьшение количества связующего снижает механические показатели, уменьшает водостойкость. ДКМ с 30%-ным содержанием связующего можно использовать в строительстве в качестве изоляционно-конструкционного материала. Дальнейшее исследование следует вести с целью уменьшения количества синтетических полимеров, изучения возможности применения отходов лесохимического производства и других модификаторов.

Как уже отмечалось, при проведении исследований в качестве переменных факторов, оказывающих влияние на величину выходного параметра (предела прочности образцов при сжатии), предусматривались количество минерального связующего (X_1) и влажность смеси (X_2).

Основные уровни варьирования переменных и их интервал в нормализованных и натуральных значениях, а также план Кано, содержащий 9 опытов, представлены в табл. 1 и 2.

В результате исследований получены образцы конструкционного материала на основе алюминатного цемента и на основе бишофита и магнезита.

В табл. 3 приведены средние показатели физико-механических свойств образцов после испытаний через 3 и 10 суток.

Таблица 1. Уровни и интервал варьирования факторов

Фактор	Нижний предел (-1)	Верхний предел (+1)	Интервал	Основной уровень
Количество минерального связующего X1, %	40	60	10	50
Влажность смеси X2, %	9	15	3	12

Таблица 2. План эксперимента

Значения факторов			
В условных значениях		В нормализованных значениях	
X ₁	X ₂	X ₁	X ₂
1	1	60	15
-1	1	40	15
1	-1	60	9
-1	-1	40	9
1	0	60	12
-1	0	40	12
0	1	50	15
0	-1	50	9
0	0	50	12

Таблица 3. Средние показатели физико-механических свойств при испытании образцов

Показатели образцов на основе алюминатного цемента				Показатели образцов на основе бишофита и магнезита	
Предел прочности при сжатии, МПа		Плотность, кг/м ³		Предел прочности при сжатии, МПа	Плотность, кг/м ³
3 суток	10 суток	3 суток	10 суток		
6,74	8,50	1 214	1 152	8,53	1 056
6,47	8,97	1 140	1 227	6,83	934
5,33	6,27	1 143	1 222	7,16	1 023
8,27	8,90	1 069	1 116	7,76	1 013
4,50	8,62	1 267	1 238	7,73	1 000
8,23	8,22	1 015	1 028	7,90	1 025
5,63	9,70	1 235	1 040	11,60	1 140
7,23	7,90	1 166	1 014	8,57	1 013
4,93	8,58	1 150	1 045	10,27	1 078

На основании регрессионного анализа полученных данных составлены уравнения регрессии (1)–(3), описывающие влияние переменных на прочность образцов.

Уравнения регрессии. При использовании в качестве связующего алюминатного цемента:

$$Y_1 = 5,45 - 1,066X_1 - 0,33X_2 + 0,801X_1X_2 + 0,66X_1^2 + 0,73X_2^2. \quad (1)$$

Уравнение (1) описывает влияние факторов на прочность образцов при испытании через 3 суток.

$$Y_2 = 8,79 - 0,45X_1 + 0,683X_2 + 0,541X_1X_2 - 0,48X_1^2. \quad (2)$$

Уравнение (2) описывает влияние переменных на прочность образцов при испытании через 10 суток.

При использовании в качестве связующего состава на основе бишофита и магнезита было получено уравнение (при испытании образцов через 3 суток):

$$Y_3 = 10,29 + 0,155X_1 + 0,575X_1X_2 - 2,49X_1^2. \quad (3)$$

На основании разработанных уравнений регрессии получены оптимальные параметры варьируемых факторов.

Выводы. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В результате исследований доказана возможность использования в качестве связующего алюминатного цемента для получения конструкционного материала.

2. Прочность на сжатие выдержанных перед испытаниями 10 суток образцов из материала, полученного на основе алюминатного цемента, согласуется с требованиями, предъявленными к аналогичным образцам на основе бишофита и магнезита (не менее 8 МПа).

3. Прочностные показатели испытываемых образцов уступают аналогичным показателям материала, полу-

ченного на основе бишофита. Однако, как показывают полученные результаты, прочность материала на основе алюминатного цемента возрастает с увеличением продолжительности выдержки образцов перед испытанием,

что позволяет сделать заключение о целесообразности более длительной выдержки, адекватной по продолжительности рекомендуемой для строительных материалов на основе цементов (до 28 суток).

Литература

1. Веселов А.А. Использование древесных отходов фанерного и спичечного производства. М.: Лесная пром-сть, 1987. 160 с.
2. Завражнов А.М. Пути использования отходов в производстве плит // Плиты и фанера: экспресс-информ. М.: ВНИПИЭлеспром, 1981. Вып. 8. 13 с.
3. Качелкин Л.И., Рушнов Н.П., Михайлов Г.М. Использование отходов лесозаготовок. М.: Лесная пром-сть, 1965. 323 с.
4. Коротаев Э.И., Клименко М.И. Использование древесных опилок. М.: Лесная пром-сть, 1974. 144 с.
5. Сангалов Ю.А., Карчевский С.Г., Ионов В.И. Дисперсная древесина как перспективное химическое сырье // Вестн. акад. наук Республики Башкортостан. 2014. Т. 19. № 4. С. 5-15.
6. Хасаншин Р.Р. Обзор современных исследований по снижению токсичности древесно-клееных материалов // Вестн. Казанского технологического ун-та. 2014. Т. 17. № 6. С. 51-53.
7. Обливин А.Н., Лопатников М.В., Тарасов С.М. Древесные композиционные материалы на неорганическом связующем // Вестн. МГУЛ. Лесной вестн. 2016. Т. 20. № 4. С. 64-68.
8. Moreno D.D.P., Saron C. Low-density polyethylene waste/recycled wood composites // Composite Structures. 2017. V. 176. P. 1152-1157.
9. Ayrlmis N. Effect of thermal-treatment of wood fibres on properties of flat-pressed wood plastic composites // Polymer Degradation and Stability. 2011. V. 96. № 5. P. 818-822.
10. Паскарь В.С., Рублева О.А. Разработка требований к декоративным изделиям из древесно-композиционных материалов на основе отходов деревообработки // Лесотехнические ун-ты в реализации концепции возрождения инженерного образования: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: сб. тр. конф. (21 мая - 22 сент. 2019 г.). Екатеринбург, 2019. С. 56-59.
11. ГОСТ 32794-2014. Композиты полимерные. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2015. С. 30.
12. ГОСТ 11368-89. Массы древесные прессовочные. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1989. 24 с.
13. Симилова А.А., Челышева И.Н., Плотников Н.П. Применение лигнина в производстве древесно-полимерных композитов // Вестн. КрaсГАУ. 2013. № 1. С. 162-169.
14. Plotnikova G.P., Plotnikov N.P., Simonyan S.H. Modeling of technological process of wood-composite material production of woodworking and wood chemical complex wastes // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. V. 10. № 6. P. 15131-15139.
15. Plotnikov N.P., Plotnikova G.P. Structure of naphthol modified urea-formaldehyde resins by using the method of nuclear magnetic resonance // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2014. V. 5. № 6. P. 1466-1472.
16. Plotnikov N.P., Plotnikova G.P. Application of lignin in production wood-polymer composites // E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE 2019), 2020. P. 14011.
17. Денисов С.В., Плотников Н.П. Склеивание фанеры на основе применения модифицированных смол // Труды Братского гос. ун-та. Сер. Естественные и инженерные науки. 2010. Т. 2. С. 298-303.
18. Корчаго И.Г. Древесностружечные плиты из мягких отходов. М.: Лесная пром-сть, 1971. 104 с.
19. Отлев И.А., Штейнберг Ц.Б. Справочник по производству древесностружечных плит. М.: Лесная пром-сть, 1990. 384 с.
20. Пучков Б.В. Использование древесных отходов для производства плит // Деревообработка в России. 1998. № 1. С. 7-8.

References

1. Veselov A.A. Use of wood waste from plywood and match production. M.: Lesnaya prom-st', 1987. 160 p.
2. Zavrazhnov A.M. Ways to use waste in the production of boards // Plity i fanera: ekspress-inform. M.: VNIPIElesprom, 1981. Vyp. 8. 13 p.
3. Kachelkin L.I., Rushnov N.P., Mihajlov G.M. The use of logging waste. M.: Lesnaya prom-st', 1965. 323 p.
4. Korotaev E.I., Klimenko M.I. Use of sawdust. M.: Lesnaya prom-st', 1974. 144 p.
5. Sangalov YU.A., Karchevskij S.G., Ionov V.I. Dispersed wood as a promising chemical raw material // Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2014. V. 19. № 4. P. 5-15.
6. Hasanshin R.R. Review of modern research on reducing the toxicity of wood-glued materials // Herald of Kazan Technological University. 2014. V. 17. № 6. P. 51-53.
7. Oblivin A.N., Lopatnikov M.V., Tarasov S.M. Wood composite materials on an inorganic binder // Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik. 2016. V. 20. № 4. P. 64-68.
8. Moreno D.D.P., Saron C. Low-density polyethylene waste/recycled wood composites // Composite Structures. 2017. V. 176. P. 1152-1157.
9. Ayrlmis N. Effect of thermal-treatment of wood fibres on properties of flat-pressed wood plastic composites // Polymer Degradation and Stability. 2011. V. 96. № 5. P. 818-822.
10. Paskar' V.S., Rubleva O.A. Development of requirements for decorative products from wood-composite materials based on woodworking waste // Lesotekhnicheskie un-ty v realizacii koncepcii vozrozhdeniya inzhenerenogo obrazovaniya: social'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo kompleksa: sb. tr. konf. (21 maya - 22 sent. 2019 g.). Ekaterinburg, 2019. P. 56-59.
11. GOST 32794-2014. Polymer composites. Terms and Definitions. M.: Standartinform, 2015. P. 30.
12. GOST 11368-89. Wood pressing masses. Specifications. M.: Izd-vo standartov, 1989. 24 p.
13. Simikova A.A., Chelysheva I.N., Plotnikov N.P. The use of lignin in the production of wood-polymer composites // The Bulletin of KrasGAU. 2013. № 1. P. 162-169.
14. Plotnikova G.P., Plotnikov N.P., Simonyan S.H. Modeling of technological process of wood-composite material production of woodworking and wood chemical complex wastes // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. V. 10. № 6. P. 15131-15139.
15. Plotnikov N.P., Plotnikova G.P. Structure of naphthol modified urea-formaldehyde resins by using the method of nuclear magnetic resonance // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2014. V. 5. № 6. P. 1466-1472.
16. Plotnikov N.P., Plotnikova G.P. Application of lignin in production wood-polymer composites // E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE 2019), 2020. P. 14011.
17. Denisov S.V., Plotnikov N.P. Bonding of plywood based on the use of modified resins // Trudy Bratskogo gos. un-ta. Ser. Estestvennye i inzhenernye nauki. 2010. V. 2. P. 298-303.
18. Korchago I.G. Chipboards from soft waste. M.: Lesnaya prom-st', 1971. 104 p.
19. Otlev I.A., Shhtejnberg C.B. Reference book on the production of particle boards. M.: Lesnaya prom-st', 1990. 384 p.
20. Puchkov B.V. The use of wood waste for the production of boards // Derevoobrabotka v Rossii. 1998. № 1. P. 7-8.