

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ В ПЛИТНОЙ ПРОДУКЦИИ

кандидат технических наук, доцент **А. В. Рубинская**¹кандидат технических наук, доцент **А. П. Мохирев**¹**О. К. Спирина**¹доцент **Н. С. Тарасюк**¹

1 – ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», филиал в г. Лесосибирске, г. Лесосибирск, Российская Федерация

Представлены результаты исследований в области изготовления древесных плит специального назначения, на основании которого возможно совершенствование энергосиловых, конструктивных и технологических параметров размалывающих машин с учетом использования отходов производства для улучшения качественных показателей древесноволокнистых материалов и физико-механических показателей готовой продукции. Для решения поставленной задачи с целью получения математического описания процесса размола древесноволокнистой массы и изготовления древесноволокнистых плит сухим способом, были использованы методы статистическо-математического планирования. Разработана математическая модель объекта для использования ее в виде инструмента исследования. С ее помощью определяются необходимые характеристики объекта, и способы управления оптимальными режимами функционирования, результаты влияния на объект различных факторов. При планировании эксперимента с помощью совокупности приемов, возможно получить адекватное описание процесса и правильное построение интересующего эксперимента. В работе были получены уравнения, которые описывают исследуемые процессы, позволяют использовать отходы производства для улучшения качественных показателей древесноволокнистых материалов и физико-механических показателей готовой продукции. При известных значениях массовой доли лиственных пород в древесноволокнистой композиции и одновременном варьировании всеми факторами, возможно повысить не только эффективность комплексного использования древесного сырья, но и физико-механические показатели древесноволокнистых плит. При реализации эксперимента в качестве сырья для производства ДВП сухого способа использовали технологическую щепу, отвечающую требованиям ГОСТ 15815-83 «Щепа технологическая. Технические условия». Формование и прессование экспериментальных плит, а также их оценку размерно-качественных характеристик осуществляли на лабораторных установках в филиале СибГУ в г. Лесосибирске.

Ключевые слова: физико-механические показатели, древесноволокнистая плита, однофакторный эксперимент, прочность, плотность, водопоглощение, лиственные породы.

IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF INTEGRATED UTILIZATION OF WOOD RAW MATERIAL IN PLATE PRODUCTS

PhD in Engineering, Associate Professor **A. V. Rubinskaya**¹PhD in Engineering, Associate Professor **A. P. Mokhirev**¹**O. K. Spirina**¹Associate Professor **N. S. Tarasyuk**¹

1 – Lesosibirsk Branch of Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev», Lesosibirsk, Russian Federation

Abstract

The results of research in the field of the production of special-purpose wood plates are presented, on the basis of which it is possible to improve power-strength, structural and technological parameters of grinding machines, taking into account the use of industrial waste to improve the quality of wood-fiber materials and physical and mechanical properties of finished products. To solve the task in order to obtain a mathematical description of the process of the wood-fiber material

grinding and dry production of wood-fiber plates, methods of statistical-mathematical planning have been used. A mathematical model of the object has been developed for using it as a research tool. With its help, the necessary characteristics of the object, and the ways of controlling the optimal modes of functioning, the results of influence on the object factors are determined. It is possible to obtain an adequate description of the process and the correct construction of the experiment of interest when planning an experiment using a set of techniques. In the paper, equations that describe the processes under study have been obtained; they allow the use of production waste to improve the quality of wood-fiber materials and physical and mechanical parameters of the finished product. It is possible to increase not only the efficiency of the complex use of wood raw materials, but also physical and mechanical characteristics of wood fiber boards with the known values of the mass fraction of deciduous species in the woody fiber composition and the simultaneous variation by all factors. In implementing the experiment, technological chips meeting the requirements of State Standard 15815-83 "Technological chips. Technical conditions » have been used as a raw material for the production of fiberboard by dry method. Forming and pressing of experimental plates, as well as evaluation of their dimensional and qualitative characteristics, have been carried out on laboratory installations at the branch of SibSU in Lesosibirsk.

Keywords: physical and mechanical characteristics, fiberboard, single-factor experiment, strength, density, water absorption, hardwoods.

На сегодняшний день проблема комплексного использования древесных ресурсов является одной из приоритетных задач лесного сектора [1, 7, 8].

Древесноволокнистая плита – это листовой композитный материал, получаемый путем технологии горячего прессования изготовленный из высушенных или влажных древесных волокон [12, 14].

Согласно теории структурообразования плит [12, 15, 16, 19], плита состоит из армирующих микро-структуру волокон образующих пространственную сетку поры, которой заполнены не волокнистыми компонентами мелкодисперсной волокнистой фракцией воздухом и водой. В предложенной модели структуры плиты межволоконные контакты имеют связи адгезионного и когезионного характера. Определяющие их параметры зависят от количества и свойств, введенных не волокнистых компонентов и мелковолоконной фракции [13, 18, 20].

Существует множество теоретических взглядов на структуру образования древесноволокнистых плит [12, 17], но все эти предположения требуют экспериментального подтверждения. Для этого требуется разработать математические модели с нормализованными значениями факторов, выбрать основные характеристики моделей, провести планирование эксперимента. Таким образом, в представленной работе была поставлена задача определения процентного содержания лиственных пород в древесноволокнистой композиции, без ухудшения в готовой продукции древесноволокнистых плит физико-механических

характеристик.

Для решения поставленной задачи с целью получения математического описания процесса используются методы математического планирования [9, 10]. Важнейшей составной частью научного исследования является математическая модель объекта. Цель наших исследований получение эмпирических математических моделей, описывающих исследуемый объект т.е. - поиск зависимости каждой из выходных величин объекта от варьируемых факторов. С помощью математической модели которая является наилучшим инструментом исследования, могут определяться режимы функционирования оптимальные для исследователя, варианты управления объектом, характеристики объекта и результаты воздействия на него различных факторов [4].

Для получения регрессионных зависимостей были проведены однофакторные эксперименты, которые описывают результаты экспериментов с достаточной точностью. Коэффициенты уравнения определялись при решении системы из трех линейных уравнений с тремя неизвестными. Входным параметром эксперимента являются, фракционный состав лиственных пород и их процентное содержание в композиции а.с.в. (абсолютно сухого волокна). Уровни варьирования взяты из литературных источников [10].

Таким образом, основным методом получения математического описания процесса изготовления древесноволокнистых плит с использованием лиственных пород был применен активный однофактор-

ный эксперимент [10]. Физико-механические показатели древесноволокнистых плит были определены стандартными методами, которые разрабатывались для проведения производственного процесса и контроля качества продукции. Физико-механические и размерные характеристики готовой плиты (плотность, прочность, водопоглощение за 24 часа) определялись по ГОСТ 19592-80 «Плиты древесноволокнистые. Методы испытаний».

Влияющие на исследуемый процесс, факторы, делятся на три группы: неконтролируемые, контролируемые, управляемые.

Управляемые факторы однофакторных экспериментов:

- M_n – концентрация компонента лиственных пород в основной композиции к а.с.в, %;

Контролируемые факторы однофакторного эксперимента:

- плотность – P ;
- прочность – P_r
- водопоглощение за 24 часа – S .

Не указанные выше геометрические характеристики процесса относятся к неконтролируемым факторам эксперимента [5].

Программа экспериментальных исследований состоит из планирования и реализации однофакторных исследований по определению зависимости прочности, P_r (Мпа), плотность – P , $кг/м^3$, водопоглощения, S (%), древесноволокнистой плиты от массовой доли лиственных пород к а.с.в, % с использованием фенолформальдегидной смолы в виде функциональных зависимостей.

Древесноволокнистая масса была взята после второй ступени (рафинатор) в цехе ДВП ЗАО «Новоенисейский ЛХК». Формование и прессование экспериментальных плит, а также их оценку размерно-качественных характеристик осуществляли на лабораторных установках в филиале СибГАУ в г. Лесосибирске.

При реализации эксперимента в качестве сырья для производства ДВП сухого способа использовали технологическую щепу, отвечающую требованиям ГОСТ 15815-83 «Щепа технологическая. Технические условия», получаемую из отходов лесопиления и низкокачественной древесины.

При изготовлении плит сухим способом ис-

пользуются такие материалы, как смола фенолформальдегидная СФЖ-3024 К ГОСТ 20907-75; аммоний хлористый технический, отвечающий требованиям ГОСТ 2210-73Е «Аммоний хлористый. Технические условия»; карбамид марки А в соответствии с ГОСТ 2081-75Е «Карбамид. Технические условия»; а также парафины нефтяные, отвечающие требованиям ГОСТ 23683-89 «Парафины нефтяные твердые. Технические условия».

Согласно плану эксперимента, отбиралось необходимое количество древесноволокнистой массы, на заводе, для формирования прессмасс, формования ковра и прессования опытных образцов на лабораторном прессе, при всех прочих равных условиях технологии получения плит в промышленных условиях.

При помощи формующего ящика формировалась плита размером 350×350 мм с последующим прессованием на лабораторном прессе. После прессования плиты из исходной массы для анализа геометрических и физико-механических свойств плит на прочность, плотность, водопоглощение, были взяты образцы определенного размера. Смешение волокна со связующим производилось в лабораторном смесителе [2].

Циклограмма прессования ДВП в лабораторных условиях представлена для сухого способа на рис. 1.

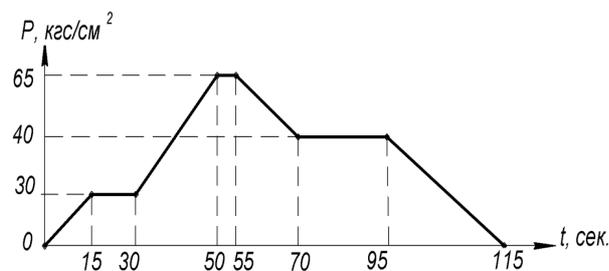


Рис. 1. Циклограмма прессования ДВП сухим способом

Управляемые факторы исследуемых процессов представлены в табл. 1, контролируемые – в табл. 2. Неконтролируемые факторы (не включенные в матрицы планирования) – это геометрические и физико-механические характеристики процесса, которые были зафиксированы на необходимых для каждого эксперимента уровнях [11]. Все управляемые и неконтролируемые факторы иссле-

Исследуемые параметры эксперимента

Параметр	Обозначение	
	Натуральное	Нормализованное
Входные параметры (управляемые факторы)		
Массовая доля лиственных пород, %	$M_{лп}$	X_0
Выходные параметры (контролируемые факторы)		
Предел прочности ДВП при статическом изгибе, МПа	Pr	Y_1
Плотность древесноволокнистой плиты, кг/м ³	P	Y_2
Водопоглощение твердой ДВП за 24 часа, %	S	Y_3
Биостойкость, балл	$V_{ю}$	Y_4

Таблица 2

Уровни и шаги варьирования исследуемого фактора – (полный поисковый эксперимент)

Фактор	Обозначение		Шаг варьирования фактора	Уровень Варьирования фактора	
	Натуральное	Нормализованное		- 1	+ 1
Массовая доля лиственных пород $M_{лп}$, %	$M_{лп}$	X_0	5	5	45

дований для проведения экспериментов устанавливались согласно возможностям завода по производству ДВП, не нарушая технологические процессы производства. Определение влияния доли лиственных пород, при использовании различных видов смол, на физико-механические и геометрические показатели древесноволокнистых плит – проч-

ность, плотность, водопоглощение - осуществлялось с помощью однофакторного эксперимента в производстве ДВП (табл. 3). При всех прочих равных условиях, т.е. считая, что другие процессы производства ДВП – проклейка, формование, пресование плит – const.

Таблица 3

Результаты экспериментальных исследований, зависимость качественных характеристик от массовой доли лиственных пород с использованием фенолформальдегидной смолы (ФФС), при производстве ДВП сухим способом

№	Сухой способ производства			
	Значение входных факторов		Значение выходных параметров	
	$M_{лп}$, % к а.с.в.	Pr, МПа	P, кг/м ³	S, %
1	5	42,9	94	24,9
2	10	42,8	951	25,3
3	15	42,4	957	25,4
4	20	42,1	966	25,7
5	25	41,8	975	25,8
6	30	41,2	989	25,9
7	35	40,9	993	26,2
8	40	40,6	1004	26,9
9	45	40,1	1011	27

С выбранным номером смолы, соответствующим содержанию массовой доли карданола к СФЖ 3024К - для сухого способа получения ДВП 15 %. Все исследования проводились с плитой толщиной 2,5 мм.

Графики, наглядно демонстрирующие данные зависимости, представлены на рис. 2-4.

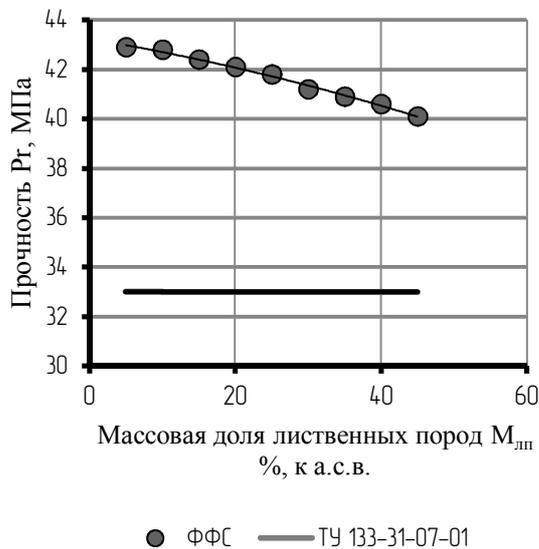


Рис. 2. Прочность древесноволокнистых плит

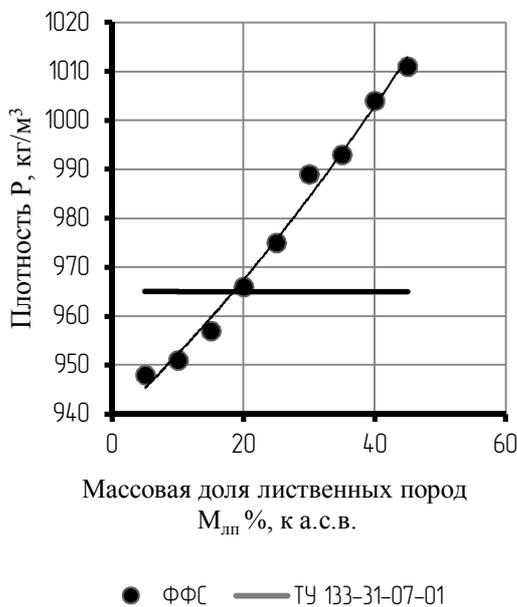


Рис. 3. Плотность древесноволокнистых плит

$$R_t = -0,0005M_{лп}^2 - 0,0492M_{лп} + 43,24$$

$$P = 0,0087M_{лп}^2 + 1,2494M_{лп} + 938,95$$

$$S = -0,0014M_{лп}^2 - 0,0287M_{лп} + 24,398$$

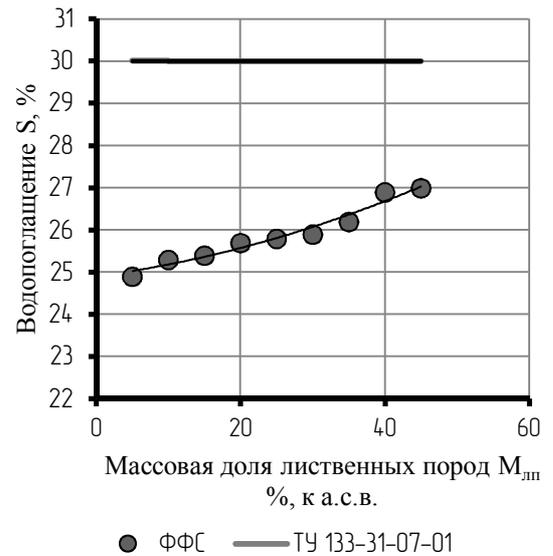


Рис. 4. Водопоглощение древесноволокнистых плит

Как видно из графиков, значения прочности уменьшаются, а плотности увеличиваются с увеличением процентного содержания лиственных пород в исходном сырье. Соответственно, для достижения более высоких значений прочности необходимо в определенной закономерности увеличивать долю смолы к такому виду полуфабриката. Это можно объяснить, с одной стороны, повышенной (в отличие от лиственных пород), плотностью древесины хвойных, меньшей проницаемостью воды (отсутствие у хвойных простых пор) и упрочняющих добавок; с другой стороны, повышенным содержанием в хвойной древесине смолистых веществ и лигнина, природа которого отличается от природы лигнина лиственных пород [6]. Известно, что чем выше содержание экстрактивных веществ в древесине и чем толще клеточная стенка, тем больше расход энергии на получение массы заданных свойств. У древесины большей плотности волокна более широкие и имеют утолщенную клеточную стенку, в связи с чем требуется больше усилий на разрушение волокна. Таким образом, чем плотнее древесина, тем больший удельный расход энергии будет расходоваться на разрыв плиты. Установлено, что при увеличении процентного содержания в щепе хвойной древесины увеличивается расход электроэнергии тем больше, чем ниже температура технологического процесса. При увеличении процентного содержания лиственных пород в щепе расход электроэнергии на подго-

товку полуфабриката уменьшается, а степень размола волокна увеличивается.

Исследования показали, что количество породного состава древесины влияет на протекание всех этапов процесса производства плит, причем для устранения последствий этих колебаний нужна на всех этапах производства корректировка технологического режима: расхода упрочняющих добавок, режима прессования плит.

Считается, что плотность – это технологический параметр, определяющий вид плиты, характеризующий материалоемкость продукции и технико-экономический уровень производства, но не потребительские свойства плит [3]. Тем не менее, от плотности плиты зависят все остальные физико-механические показатели плит. Поэтому плотность является одной из важнейших характеристик древесноволокнистых плит.

Полученные в работе уравнения, описываю-

щие исследуемые процессы размола древесноволокнистой массы и изготовления древесноволокнистых плит сухим способом, которые позволяют использовать отходы производства, могут прогнозировать получение наиболее качественных древесноволокнистых плит. При известных значениях массовой доли лиственных пород по отношению к основной композиции одновременно варьирующими всеми факторами возможно повысить не только эффективность комплексного использования древесного сырья, но и физико-механические показатели древесноволокнистых плит в пределах требований ГОСТ4598-86 «Плиты древесноволокнистые. Технические условия».

** Исследование выполнено при поддержке Красноярского краевого фонда науки в рамках участия в прохождении стажировки: «Технология лесозаготовительных производств».*

Библиографический список

1. Рациональное природопользование в условиях устойчивого развития экономики промышленных предприятий лесного комплекса [Текст] / Ю. А. Безруких, С. О. Медведев, Ю. Д. Алашкевич, А. П. Мохирев // Экономика и предпринимательство. – 2014. – № 12-2. – С. 994-996.
2. Боровиков, В. П. STATISTICA. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows [Текст] : учеб. пособие / В. П. Боровиков. – М., 1998. – 605 с.
3. Гамова, И. А. Древесные композиционные материалы из отходов древесины *Sturaxtonkinensis* (Вьетнам) [Текст] / И. А. Гамова, Х. Ф. Чинь // Древесные плиты: теория и практика. – СПб., 2009. – 144 с.
4. Гончаров, В. Н. Теоретические основы размола волокнистых материалов в ножевых машинах [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.21.03 / В. Н. Гончаров. – Л., 1990. – 474 с.
5. Громов, А. И. Современное оборудование для изготовления древесноволокнистых плит средней плотности [Текст] / А. И. Громов, В. Б. Серов. – М. : ВНИПИЭИлеспром, 1986. – 38 с. – (Плиты и фанера; вып. 8).
6. Зырянов, М. А. Экспериментально-теоретическое обоснование физико-химических превращений древесной биомассы в технологии производства древесноволокнистых плит [Электронный ресурс] / М. А. Зырянов, И. А. Дресвянкин, А. В. Рубинская // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 4. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3841.
7. Разработка и экспериментально-теоретическое обоснование технологии переработки порубочных остатков древесины [Текст] / М. А. Зырянов, А. П. Мохирев, Т. Г. Рябова, С. А. Карпук // В мире научных открытий. – 2015. – № 12-3 (72). – С. 845-853.
8. Мохирев, А. П. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса как фактор устойчивого природопользования [Электронный ресурс] / А. П. Мохирев, Ю. А. Безруких, С. О. Медведев // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 36. – № 2-2. – С. 81. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3011.
9. Применение экономико-математического моделирования для выбора оптимального варианта использования вторичных древесных ресурсов [Электронный ресурс] / А. П. Мохирев, С. О. Медведев,

Ю. А. Безруких, М. М. Герасимова // Российский экономический интернет - журнал. – 2016. – № 4. – С. 40. – Режим доступа: e-rej.ru/upload/iblock/283/28335424806feb93bbc3e52798e1e699.pdf.

10. Пижурин, А. А. Исследование процессов деревообработки [Текст] // А. А. Пижурин. – М. : Лесн. пром-сть, 1984. – 232 с.

11. Чистова, Н. Г. Влияние режимов размола на качество подготовки древесного волокна для изготовления ДВП [Текст] / Н. Г. Чистова // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 4. – С. 139-143.

12. Чистова, Н. Г. Переработка древесных отходов в технологическом процессе производства древесноволокнистых плит [Текст] : дис. ... д-ра техн. Наук: 05.21.03 / Н. Г. Чистова. – Красноярск, 2010. – 414 с.

13. Aiti, S. N. Effect of wood fibers on the rheological properties of i-pp / wood fiber composites [Text] / S. N. Aiti, R. Subbarao, M. N. Ibrahim // Journal of Applied Polymer Science. – 2004. – Т. 91. – № 1. – P. 644-650.

14. Badel, E. 3D Structural characterisation, deformation measurements and assessment of low-density wood fibreboard under compression: the use of x-ray microtomography [Text] / E. Badel, C. Delisee, J. Lux // Composites Science and Technology. – 2008. – Т. 68. – № 7-8. – P. 1654-1663.

15. Effects of fiber surface treatments on mechanical properties of wood fiber-cement composites [Text] / P. R. Blankenhorn, B. D. Blankenhorn, M. R. Silsbee, M. DiCola // Cement and Concrete Research. – 2001. – Т. 31. – № 7. – P. 1049-1055.

16. Thermal behaviour of modified wood fibers [Text] / F. M. B. Coutinho, T. H. S. Costa, D. L. Carvalho, M. M. Gorelova, L. C. De Santa Maria // Polymer Testing. – 1998. – Т. 17. – № 5. – P. 299-310.

17. Fahlen, J. Cross-sectional structure of the secondary wall of wood fibers as affected by processing [Text] / J. Fahlen, L. Salmen // Journal of Materials Science. – 2003. – Т. 38. – № 1. – P. 119-126.

18. Labelle, E. R. Assessing the ability of hardwood and softwood brush mats to distribute applied loads [Text] / E.R. Labelle, D. Jaeger, B. J. Poltorak // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2015. – Т. 36. – № 2. – P. 227-242.

19. Lee, B. J. Influence of fiber length on the mechanical properties of wood-fiber/polypropylene prepreg sheets [Text] / B. J. Lee, A. G. McDonald, B. James // Materials Research Innovations. – 2001. – Т. 4. – № 2-3. – P. 0097-0103.

20. Pehanich, J. L. Wood fiber surface treatment level effects on selected mechanical properties of wood fiber-cement composites [Text] / J. L. Pehanich, P. R. Blankenhorn, M. R. Silsbee // Cement and Concrete Research. – 2004. – Т. 34. – № 1. – P. 59-65.

References

1. Bezrukikh Yu. A., Medvedev S. O., Alashkevich Yu. D., Mokhiev A. P. *Ratsional'noe prirodopol'zovanie v usloviyakh ustoychivogo razvitiya ekonomiki promyshlennykh predpriyatij lesnogo kompleksa* [Environmental management in the context of sustainable development of the economy of industrial enterprises of the forest complex]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepreneurship], 2014. No 12-2. P. 994-996 (In Russian).

2. Borovikov V. P. *STATISTICA. Statisticheskij analiz i obrabotka dannyh v srede Windows* [STATISTICA. Statistical analysis and data processing in a Windows environment]. Moscow, 199, 605 p. (In Russian)

3. Gamowa I. A., Chin' Kh. F. *Drevesnye kompozicionnye materialy iz othodov drevesiny Sturaxtonkinensis (V'etnam)* [Wood composite materials from wood waste Sturaxtonkinensis]. *Drevesnye plity: teorija i praktika* [Wood plates: theory and practice]. Saint-Petersburg, 2009, 144 p. (In Russian)

4. Goncharov V. N. *Teoreticheskie osnovy razmola voloknistyh materialov v nozhevyh mashinah* [Theoretical bases of grinding of fibrous materials in knife machines]. Leningrad, 1990, 474p. (In Russian)

5. Gromov A. I., Serov V. B. *Sovremennoe oborudovanie dlja izgotovlenija drevesnovoloknistyh plit srednej plotnosti* [Modern equipment for the production of medium density fibreboard slabs]. Moscow, 1986, 38 p. (In Russian)

6. Zyryanov M. A., Dresvyankin I. A., Rubinskaya A. V. *Eksperimental'no-teoreticheskoe obosnovanie fiziko-khimicheskikh prevrashcheniy drevesnoy biomassy v tekhnologii proizvodstva drevesnovoloknistykh plit* [Experimentally-theoretical substantiation of physical and chemical changes Dreux-spring biomass in the technology of

production of fibreboard]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don]. 2016, No 4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3841 (In Russian)

7. Zyryanov M. A., Mokhiev A. P., Ryabova T. G., Karpuk S. A. *Razrabotka i eksperimental'no - teoreticheskoe obosnovanie tekhnologii pererabotki porubochnykh ostatkov drevesiny* [Development and experimental-theoretical substantiation of the technology of processing of wood residues]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the world of scientific discoveries]. 2015. No 12 -3 (72). P. 845 -853. (In Russian)

8. Mokhiev A. P., Bezrukikh Yu. A., Medvedev S. O. *Pererabotka drevesnykh otkhodov predpriyatiy lesopromyshlennogo kompleksa, kak faktor ustoychivogo prirodopol'zovaniya* [Processing of wood wastes of timber industry complex as a factor of sustainable environmental management]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don]. 2015. T. 36. No 2 -2. P. 81. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2p2y2015/3011. (In Russian)

9. Mokhiev A. P., Medvedev S. O., Bezrukikh Yu. A., Gerasimova M. M. *Primenenie ekonomiko-matematicheskogo modelirovaniya dlya vybora optimal'nogo varianta ispol'zovaniya vtorichnykh drevesnykh resursov* [The Use of economic-mathematical modeling for optimal use of waste wood resources]. *Rossiyskiy ekonomicheskii internet-zhurnal* [Russian economic Internet magazine]. 2016. No 4. P. 40. URL: e-rej.ru/upload/iblock/283/28335424806feb93bbc3e52798e1e699.pdf (In Russian).

10. Pizhurin A. A. *Issledovanie processov derevoobrabotki* [Research of woodworking processes]. Moscow, 1984, 232 p. (In Russian)

11. Chistova N. G. *Pererabotka drevesnykh otkhodov v tekhnologicheskom processe proizvodstva drevesnovoloknistykh plit* [Processing of wood waste in the technological process of production of fibreboard]. Krasnoyarsk, 2010, 414 p. (In Russian)

12. Chistova N. G. *Vlijanie rezhimov razmola na kachestvo podgotovki drevesnogo volokna dlja izgotovleniya DVP. Hvojnye boreal'nye zony* [The influence of grinding regimes on the quality of preparation of wood fiber for the manufacture of fiberboard. Coniferous boreal zones]. Krasnoyarsk, 2007, p. 139-143 (In Russian).

13. Aiti S. N., Subbarao R., Ibrahim M. N. Effect of wood fibers on the rheological properties of i-pp/wood fiber composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 2004. T. 91. No 1. P. 644-650.

14. Badel E., Delisee C., Lux J. 3D Structural characterisation, deformation measurements and assessment of low-density wood fibreboard under compression: the use of x-ray microtomography *Composites Science and Technology*. 2008. T. 68. No 7-8. P. 1654-1663.

15. Blankenhorn P.R., Blankenhorn B.D., Silsbee M.R., DiCola M. Effects of fiber surface treatments on mechanical properties of wood fiber-cement composites. *Cement and Concrete Research*. 2001. T. 31. No 7. P. 1049-1055.

16. Coutinho F. M. B., Costa T. H. S., Carvalho D. L., Gorelova M. M., De Santa Maria L. C. Thermal behaviour of modified wood fibers. *Polymer Testing*. 1998. T. 17. No 5. P. 299-310.

17. Fahlen J., Salmen L. Cross-sectional structure of the secondary wall of wood fibers as affected by processing. *Journal of Materials Science*. 2003. T. 38. No 1. P. 119-126.

18. Labelle E. R., Jaeger D., Poltorak B. J. Assessing the ability of hardwood and softwood brush mats to distribute applied loads. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2015. T. 36. No 2. P. 227-242.

19. Lee B. J., McDonald A. G., James B. Influence of fiber length on the mechanical properties of wood-fiber/polypropylene prepreg sheets. *Materials Research Innovations*. 2001. T. 4. No 2-3. P. 0097-0103.

20. Pehanich J. L., Blankenhorn P. R., Silsbee M. R. Wood fiber surface treatment level effects on selected mechanical properties of wood fiber-cement composites. *Cement and Concrete Research*. 2004. T. 34. No 1. P. 59-65.

Сведения об авторах

Рубинская Анастасия Владиславовна – доцент кафедры экономики и организации отраслей химико-лесного комплекса ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кандидат технических наук, доцент, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: rubinav1@mail.ru.

Мохирев Александр Петрович – доцент кафедры технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кандидат технических наук, доцент, г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru.

Спирина Ольга Константиновна – магистрант кафедры технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: Olga.puzireva2015@yandex.ru.

Тарасюк Нина Сергеевна – доцент кафедры экономики и организации отраслей химико-лесного комплекса ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: tns58@mail.ru.

Information about authors

Rubinskaya Anastasia Vladislavovna – Associate Professor of the Department of Economics and Organization of Chemical-Wood Complexes, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev», Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: rubinav1@mail.ru.

Mokhirev Alexander Petrovich – Associate Professor of the Department of Technology of Logging and Woodworking Productions, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev», Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru.

Spirina Olga Konstantinovna – Master of Science in the Department of Technology of Logging and Woodworking Production, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev», Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: Olga.puzireva2015@yandex.ru.

Tarasjuk Nina Sergeevna – Associate Professor of the Department of Economics and Organization of Chemical-Wood Complexes, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev», Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: tns58@mail.ru.