

СОДЕРЖАНИЕ

Композиционные материалы

Агапов А.И. Алгоритм решения задачи оптимизации раскроя пиловочника средних и больших размеров брусом-развальным способом	4
Азаров В.И., Винославский В.А., Зарубина А.Н., Любавина И.В. Применение синтетических латексов для получения пленок на основе бумаг	10
Гайда С.В. Эколого-технологические аспекты переработки вторично используемой древесины для производства прессованных материалов	15
Гофрани М., Никкар К., Торкман Дж. Древесноволокнистые укрепленные цементом плиты на основе рисовых стеблей и золы рисовой шелухи	23
Котенко В.Д., Глебов И.В. Вакуумная технология получения многослойных препрегов с высоким содержанием полимера	29
Кочева М.Н. Использование древесных отходов в лесной промышленности и разработка предложений по переработке их на предприятиях Республики Коми	35
Питухин А.В., Васильев С.Б., Колесников Г.Н., Панов Н.Г., Цветков В.Е., Санаев В.Г. Использование модифицированной клеевой композиции для изготовления древесностружечных плит из низкокачественной древесины	41
Пылыпив И.З. К вопросу формирования гнотоклеевых элементов мебели с использованием древесноволокнистых плит	48
Савиновских А.В., Артемов А.В., Бурындин В.Г. Влияние модификаторов на физико-механические свойства древесных пластиков без добавления связующих	55
Скуратов Н.В. Инновационные легкие панели из древесины	60
Скуратов Н.В., Сапожников И.В., Самойленко Д.А., Алексеева И.И. Метод определения поверхностной влажности древесины	66
Сычева Н.А., Хмызов И.А., Соловьева Т.В. Влияние режима гранулирования и состава топливных пеллет на их прочностные свойства	72
Угрюмов С.А., Осетров А.В. Структура и свойства древесных плит на основе фуранового олигомера	80
Хоссейн РАНГАВАР Изучение физических свойств древесноволокнистых плит средней плотности, изготовленных с применением медных наночастиц	86
Цыгарова М.В. Производство строительных материалов из отходов деревоперерабатывающего предприятия	90
Шамаев В.А., Парин Д.А. Композиционная фанера с добавками наноцеллюлозы	95
Шкуро А.Е., Глухих В.В., Мухин Н.М. Получение и изучение свойств древесно-полимерных композитов с наполнителями из отходов растительного происхождения	101
Косарин А.А., Курышов Г.Н. Индустриальный мореный дуб	106
Сиротов А.В., Тарлаков Я.В., Селиванов К.В. Управление техническим состоянием машин лесопромышленного комплекса в условиях эксплуатации	112
Моисеев Н.А. Кризис в лесных делах России: истоки и возможные пути выхода из него	116
Корольков А.В., Неменок А.Н., Рыбников К.К., Чавкина М.Н., Чернобровина О.К. Первые преподаватели-математики Московского лесотехнического института. Пересечение творческих судеб (к 100-летию Московского государственного университета леса)	126
Жердева М.В., Артющенко В.М. Стемминг и лемматизация в <i>Liscene.net</i>	131
Косарина А.А., Федотова А.Е. Развитие системы контрактного права Англии	135

CONTENTS

Composite materials

Agapov A.I. <i>Optimization algorithm of solving the task of plank medium-sized and large-sized log cut by log squatter break-up method</i>	4
Azarov V.I., Wieslawski V.A., Zarubina A.N., Lyubavina I.V. <i>Application of synthetic latexes for plastic sheeting production based on different types of paper</i>	10
Gayda S.V. <i>Ecological and technological aspects of recycling post-consumer wood for production compacted materials</i>	15
Ghofrani M., Nikkar K., Torkman J. <i>Fiber reinforced cement boards made from rice stalk fiber and rice husk ash</i>	23
Kotenko V.D., Glebov I.V. <i>Vacuum technology for producing of multi-layer prepregs with a high content of polymer</i>	29
Kocheva M.N. <i>The use of wood waste in the forest industry and some offers on its processing at Komi republic enterprises</i>	35
Pitukhin A.V., Vasilyev S.B., Kolesnikov G.N., Panov N.G., Tsvetkov V.E., Sanaev V.G. <i>Using a modified adhesive composition for wood-based panels manufacture from low-grade wood</i>	41
Pylypiv I.Z. <i>The issue of formation of curved furniture components by using fibreboard</i>	48
Savinovskih A.V., Artyomov A.V., Buryndin V.G. <i>The influence modifiers on physical and mechanical properties of wood plastic without using resin</i>	55
Skuratov N.V. <i>Innovative lightweight wood based panels</i>	60
Skuratov N.V., Sapozhnikov I.V., Samoilenko D.A., Alexeeva I.I. <i>Method for determining the wood surface moisture content</i>	66
Sychova N.A., Hmyzov I.A., Soloueva T.V. <i>The influence of granulation and pellets composition on their strength properties</i>	72
Ugryumov S.A., Osetrov A.V. <i>Structure and properties of particleboards based on furan oligomer</i>	80
Hossein Rangavar <i>Study of physical properties of medium-density fiberboard manufactured by nanocopper</i>	86
Tsygarova M.V. <i>Production of construction materials from woodworking enterprise waste</i>	90
Shamaev V.A., Parinov D.A. <i>Composite plywood with addition nanocellulose</i>	95
Shkuro A.E., Glukhikh V.V., Mukhin N.M. <i>Preparation and properties of wood-plastic composites with vegetable waste fillers</i>	101
Kosarin A.A., Kuryshov G.N. <i>Industrial Bog Oak</i>	106
Siroto A.V., Tarlakov Y.V., Selivanov K.V. <i>Management of technical state of timber industry machines in field conditions</i>	112
Moiseev O.N. <i>Crisis in Russia's forest cases: its origins and the possible way out of it</i>	116
Korolkov A.V., Nemenok A.N., Rybnikov K.K., Chavkin M.N., Chernobrovina O.K. <i>The first teachers of mathematics in Moscow institute of forestry. Creative fates overlap (the 100th anniversary of the Moscow state forest university)</i>	126
Zherdeva M.V., Artyushenko V.M. <i>Stemming and lemmatization in Lucene.net</i>	131
Kosarina A.A., Fedotova A.Ye. <i>Development of English Contract Law System</i>	135

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РАСКРОЯ ПИЛОВОЧНИКА СРЕДНИХ И БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ БРУСОВО-РАЗВАЛЬНЫМ СПОСОБОМ

А.И. АГАПОВ, проф., Вятский государственный университет, д-р техн. наук⁽¹⁾

kaf_mtd@vyatsu.ru

⁽¹⁾ Вятский Государственный Университет, 610046, Киров, ул. Московская, дом 83, кв. 94

Составлена математическая модель раскроя пиловочника с выпиливанием одного бруса и трех пар боковых досок с учетом ширины пропила. Математическая модель включает целевую функцию и четыре уравнения связи. Для решения математической модели использовался метод множителей Лагранжа. Определение оптимальных размеров бруса и боковых досок выполнялось численным методом. В связи с этим разработан алгоритм решения задачи в относительных единицах. С увеличением ширины пропила толщина бруса возрастает, а размеры боковых досок уменьшаются. При раскрое бруса с увеличением ширины пропилов толщина бруса незначительно уменьшается, а размеры боковых досок возрастают.

Ключевые слова: раскрой пиловочника, брус и доски, ширина пропила, критерий оптимальности, математическая модель, целевая функция, уравнения связи, метод Лагранжа, численный метод, алгоритм задачи.

Постановка задачи

Брусом-развальным способом раскроя пиловочника широко используется в промышленности, так как позволяет за два прохода сформировать обрезные доски. При раскрое пиловочника средних и больших размеров (диаметр бревна в вершинном торце 24–60 см) часто используется схема раскроя с выпиливанием одного бруса и трех пар боковых досок (рисунок) [1]. В теории максимальных поставов обычно определяются оптимальные размеры бруса и досок без учета ширины

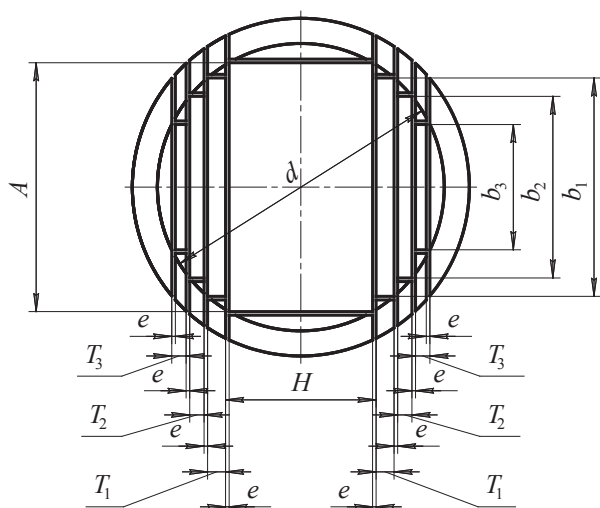


Рисунок. Схема раскроя пиловочника с выпиливанием одного бруса и трех пар боковых досок с учетом ширины пропила

Figure. The scheme of plank log cut with sawing a beam and three pairs of sideboards, taking into account the best opening face

пропила [1]. Затем при расчете поставов учитываются и ширина пропила и припуск на усушку. Такой подход упрощает постановку и решение задачи оптимизации раскроя пиловочника, хотя и вносит определенную погрешность в определение оптимальных размеров пиломатериалов. Безусловно, ширина пропила повлияет на оптимальные размеры пиломатериалов, но математическая модель при учете ширины пропила усложняется. Следует отметить, что в теории максимальных поставов ранее не учитывался раскрой бруса на обрезные доски (второй проход). В связи с этим была поставлена задача оптимизации с учетом ширины пропила и количества пропилов при раскрое бруса на обрезные доски. В таком варианте задача оптимизации раскроя пиловочника поставлена впервые.

Для такой схемы раскроя пиловочника пока не определены оптимальные размеры бруса и досок.

Составление математической модели

Для решения такой задачи составляем математическую модель [2]. В качестве критерия оптимальности выбираем выход обрезных пиломатериалов, получаемых после первого прохода раскроя пиловочника по данной схеме. Целевую функцию представляем в виде суммы поперечных сечений бруса и досок

$$Z = H \cdot A + 2T_1 \cdot b_1 + 2T_2 \cdot b_2 + 2T_3 \cdot b_3, \quad (1)$$

где H – толщина бруса;

A – ширина пласти бруса;

T_1, T_2, T_3 – толщины первой, второй и третьей пары боковых досок соответственно;
 b_1, b_2, b_3 – ширины наружной пласти первой, второй и третьей пары боковых досок соответственно.

Такое представление целевой функции отвечает физической сущности теории максимальных поставок при раскрое пиловочника. В формуле (1) одновременно суммарно учитываются площади поперечных сечений бруса и боковых досок. Можно предположить, что с увеличением объема бруса объем досок уменьшается и наоборот. Очевидно, имеется такое соотношение размеров бруса и досок, при котором объем этой пилопродукции получается максимальным. Такой системный подход отвечает также требованиям постановки и решения оптимизационных задач.

Уравнения связи представляем в виде зависимостей диаметра пиловочника в вершинном торце с размерами получаемого бруса и боковых досок [3]. Для этого воспользуемся теоремой Пифагора. Уравнение связи для бруса

$$d^2 - H^2 - A^2 = 0, \quad (2)$$

где d – диаметр пиловочника в вершинном торце.

Уравнение связи для первой пары боковых досок

$$\begin{aligned} d^2 - b_1^2 - (H + 2T_1 + 2e)^2 &= 0, \\ d^2 - b_1^2 - H^2 - 4T_1^2 - 4e^2 - \\ - 4HT_1 - 4He - 8T_1e &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Уравнение связи для второй пары боковых досок

$$\begin{aligned} d^2 - b_2^2 - (H + 2T_1 + 2T_2 + 4e)^2 &= 0, \\ d^2 - b_2^2 - H^2 - 4T_1^2 - 4T_2^2 - 16e^2 - 4HT_1 - \\ - 4HT_2 - 8He - 8T_1T_2 - 16T_1e - 16T_2e &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Уравнение связи для третьей пары боковых досок

$$\begin{aligned} d^2 - b_3^2 - (H + 2T_1 + 2T_2 + 2T_3 + 6e)^2 &= 0, \\ d^2 - b_3^2 - H^2 - 4T_1^2 - 4T_2^2 - 4T_3^2 - 36e^2 - \\ - 4HT_1 - 4HT_2 - 4HT_3 - 8T_1T_2 - 8T_1T_3 - \\ - 8T_2T_3 - 12He - 24T_1e - 24T_2e - 24T_3e &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Полагаем, что математическая модель составлена.

Решение математической модели

Для решения задачи воспользуемся методом множителей Лагранжа [4]. Функция Лагранжа будет иметь вид

$$\begin{aligned} L = HA + 2T_1b_1 + 2T_2b_2 + 2T_3b_3 + \lambda(d^2 - \\ - H^2 - A^2) + \lambda_1(d^2 - b_1^2 - H^2 - 4e^2 - \\ - 4HT_1 - 4T_1^2 - 4He - 8T_1e) + \lambda_2(d^2 - b_2^2 - \\ - H^2 - 4T_1^2 - 4T_2^2 - 16e^2 - 4HT_1 - 4HT_2 - \\ - 8T_1T_2 - 8He - 16T_1e - 16T_2e) + \lambda_3(d^2 - b_3^2 - \\ - H^2 - 4T_1^2 - 4T_2^2 - 4T_3^2 - 36e^2 - 4HT_1 - \\ - 4HT_2 - 4HT_3 - 8T_1T_2 - 8T_1T_3 - \\ - 8T_2T_3 - 12He - 24T_1e - 24T_2e - 24T_3e), \end{aligned} \quad (6)$$

где $\lambda, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – множители Лагранжа.

Находим частные производные от функции Лагранжа и приравняем их к нулю

$$\begin{cases} \frac{dL}{dA} = H - 2\lambda A = 0, \\ \frac{dL}{dL} = A - 2\lambda H - 2\lambda_1 H - 4\lambda_1 T_1 - 4\lambda_1 e - \\ - 2\lambda_2 H - 4\lambda_2 T_1 - 4\lambda_2 T_2 - 8\lambda_2 e - \\ - 2\lambda_3 H - 4\lambda_3 T_1 - 4\lambda_3 T_2 - 4\lambda_3 T_3 - \\ - 12\lambda_3 e = 0, \\ \frac{dL}{dT_1} = 2T_1 - 2\lambda_1 b_1 = 0, \\ \frac{db_1}{dL} = 2b_1 - 4\lambda_1 H - 8\lambda_1 T_1 - 8\lambda_1 e - 4\lambda_2 H - \\ - 8\lambda_2 T_1 - 8\lambda_2 T_2 - 16\lambda_2 e - 8\lambda_3 T_1 - \\ - 4\lambda_3 H - 8\lambda_3 T_2 - 8\lambda_3 T_3 - 24\lambda_3 e = 0, \\ \frac{dL}{dT_2} = 2T_2 - 2\lambda_2 b_2 = 0, \\ \frac{db_2}{dL} = 2b_2 - 8\lambda_2 T_2 - 4\lambda_2 H - 8\lambda_2 T_1 - 16\lambda_2 e - \\ - 8\lambda_3 T_2 - 4\lambda_3 H - 8\lambda_3 T_1 - 8\lambda_3 T_3 - 24\lambda_3 e = 0, \\ \frac{dL}{dT_3} = 2T_3 - 2\lambda_3 b_3 = 0, \\ \frac{db_3}{dL} = 2b_3 - 8\lambda_3 T_3 - 4\lambda_3 H - \\ - 8\lambda_3 T_1 - 8\lambda_3 T_2 - 24\lambda_3 e = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Решаем полученную систему уравнений (7) совместно с уравнением связи. Из предпоследнего уравнения системы (7) находим

$$T_3 = \lambda_3 b_3, \quad \lambda_3 = T_3 / b_3. \quad (8)$$

Рассматриваем последнее уравнение системы (7), которое представляем в следующем виде

$$b_3 = 4\lambda_3 T_3 + 2\lambda_3 H + 4\lambda_3 T_1 + 4\lambda_3 T_2 + 12\lambda_3 e. \quad (9)$$

В последнее равенство (9) подставим выражение (8), получим

$$b_3^2 = 2T_3(H + 2T_1 + 2T_2 + 2T_3 + 6e). \quad (10)$$

Полученное равенство (10) подставляя в уравнение связи (5), получим

$$8T_3^2 + 6(H + 2T_1 + 2T_2 + 6e)T_3 + (H + 2T_1 + 2T_2 + 6e)^2 - d^2 = 0. \quad (11)$$

Решая полученное квадратное уравнение (11), получим

$$T_3 = \frac{1}{8}(\sqrt{8d^2 + (H + 2T_1 + 2T_2 + 6e)^2} - 3(H + 2T_1 + 2T_2 + 6e)). \quad (12)$$

Рассматриваем пятое уравнение системы (7), из которого находим

$$T_2 = \lambda_2 b_2, \lambda_2 = T_2 / b_2. \quad (13)$$

Рассматриваем шестое уравнение системы (7), которое с учетом последнего уравнения этой системы можно представить в виде

$$b_2 = 4\lambda_2 T_2 + 2\lambda_2 H + 4\lambda_2 T_1 + 8\lambda_2 e + b_3. \quad (14)$$

В последнее равенство (14) подставим выражение (13) и получим

$$b_2^2 = 4T_2^2 + 2HT_2 + 4T_1T_2 + 8T_2e + b_2b_3. \quad (15)$$

Из последнего равенства (15) можно выразить ширину второй пары боковых досок

$$b_3 = b_2 - \frac{2T_2}{b_2}(H + 2T_1 + 2T_2 + 4e). \quad (16)$$

Используя уравнение связи (5) и зная ширину третьей пары боковых досок, можно определить толщину третьей пары боковых досок

$$T_3 = \frac{1}{2}(\sqrt{d^2 - b_3^2} - (H + 2T_1 + 2T_2 + 6e)). \quad (17)$$

Рассматриваем третье уравнение системы (7), из которого находим

$$T_1 = \lambda_1 b_1, \lambda_1 = T_1 / b_1. \quad (18)$$

Рассматриваем четвертое уравнение системы (7), которое с учетом шестого уравнения этой системы можно представить в виде

$$b_1 = 2\lambda_1 H + 4\lambda_1 T_1 + 4\lambda_1 e + b_2. \quad (19)$$

В последнее равенство (19) подставляя выражение (18), получим

$$b_1^2 = 2HT_1 + 4T_1^2 + 4T_1e + b_1b_2. \quad (20)$$

Из последнего равенства (20) определяем ширину наружной пласти второй пары боковых досок

$$b_2 = b_1 - \frac{2T_1}{b_1}(H + 2T_1 + 4e). \quad (21)$$

Зная ширину второй пары боковых досок, толщину этих досок можно определить из уравнения связи(4)

$$T_2 = \frac{1}{2}(\sqrt{d^2 - b_2^2} - (H + 2T_1 + 4e)). \quad (22)$$

Рассматриваем первое уравнение системы(7), которое представляем в виде

$$H = 2\lambda A, \lambda = Y / 2A. \quad (23)$$

Рассматриваем второе уравнение системы(7), которое с учетом четвертого уравнения этой системы можно записать как

$$A = 2\lambda H + b_1. \quad (24)$$

В последнее равенство(24) подставляя выражение (23), получим

$$A^2 = H^2 + Ab_1. \quad (25)$$

Из уравнения связи (2) можно написать

$$A^2 = d^2 - H^2. \quad (26)$$

Используя равенство (26), выражение (25) можно представить в виде

$$d^2 - 2H^2 = Ab_1. \quad (27)$$

Из последнего равенства (27) можно определить ширину первой пары боковых досок

$$b_1 = \frac{A^2 - H^2}{A} = \frac{d^2 - 2H^2}{A}. \quad (28)$$

Зная ширину первой пары боковых досок, из уравнения связи (3) можно определить толщину этих досок

$$T_1 = \frac{1}{2}(\sqrt{d^2 - b_1^2} - (H + 2e)). \quad (29)$$

Если в формулу (29) подставить уравнение (28), а затем решить его, то получим

$$T_1 = \frac{1}{2} \left(H \sqrt{\frac{3d^2 - 4H^2}{d^2 - H^2}} - (H + 2e) \right). \quad (30)$$

Таким образом, рассмотрены все уравнения системы (7) и учтены все уравнения связи. Получены формулы для определения оптимальных размеров бруса и досок, но по которым непосредственно невозможно рассчитать оптимальные размеры бруса.

Алгоритм решения задачи

Для решения задачи воспользуемся численным методом. Задаемся толщиной бруса, а остальные размеры и величину целевой функции определяем по формулам. С целью упрощения расчетов и анализа результатов все полученные ранее формулы представляем в относительных единицах, полагая $m_H = H/d$. Тогда алгоритм решения задачи будет иметь следующий вид [5].

Относительная ширина пласти бруса

$$m_A = \frac{A}{d} = \sqrt{1 - m_H^2}. \quad (31)$$

Относительная ширина первой пары боковых досок

$$m_{b_1} = \frac{b_1}{d} = \frac{m_A^2 - m_H^2}{\sqrt{1 - m_H^2}} = \frac{1 - 2m_H^2}{m_A}. \quad (32)$$

Относительная толщина первой пары боковых досок

$$m_{T_1} = \frac{T_1}{d} = \frac{1}{2}(\sqrt{1 - m_{b_1}^2} - (m_H + 2e)). \quad (33)$$

Относительная ширина наружной пласти второй пары боковых досок

$$m_{b_2} = \frac{b_2}{d} = m_{b_1} - \frac{2m_{T_1}}{m_{b_1}}(m_H + 2m_{T_1} + 2e). \quad (34)$$

Относительная толщина второй пары боковых досок

$$m_{T_2} = \frac{T_2}{d} = \frac{1}{2}(\sqrt{1 - m_{b_2}^2} - (m_H + 2m_{T_1} + 4e)). \quad (35)$$

Относительная ширина наружной пласти третьей пары боковых досок

$$m_{b_3} = \frac{b_3}{d} = m_{b_2} - \frac{2m_{T_2}}{m_{b_2}}(m_H + 2m_{T_1} + 2m_{T_2} + 4e). \quad (36)$$

Относительная толщина третьей пары боковых досок

$$m_{T_3} = \frac{T_3}{d} = \frac{1}{2}(\sqrt{1 - m_{b_3}^2} - (m_H + 2m_{T_1} + 2m_{T_2} + 6e)). \quad (37)$$

Относительная площадь поперечного сечения первой пары боковых досок

$$Z_{д1} = 2m_{b_1} \cdot m_{T_1}. \quad (38)$$

Относительная площадь поперечного сечения второй пары боковых досок

$$Z_{д2} = 2m_{b_2} \cdot m_{T_2}. \quad (39)$$

Относительная площадь поперечного сечения третьей пары боковых досок

$$Z_{д3} = 2m_{b_3} \cdot m_{T_3}. \quad (40)$$

Суммарная относительная площадь поперечного сечения боковых досок

$$Z_{д} = Z_{д1} + Z_{д2} + Z_{д3}. \quad (41)$$

Относительная площадь поперечного сечения бруса

$$Z_{бр} = m_H \cdot m_A. \quad (42)$$

Суммарная относительная площадь поперечных сечений бруса и досок

$$Z = Z_{бр} + Z_{д}. \quad (43)$$

При дальнейшем раскрое бруса (второй проход) получают обрезные доски, а также образуются потери в виде опилок. Объем опилок зависит от числа выпиливаемых досок из бруса. Поэтому количество пропилов может быть различным. Если боковые пропилы находятся (расположены) вне плас-

ти бруса, то количество учитываемых пропилов следует определять по формуле

$$i_1 = n - 1, \quad (44)$$

где n – число выпиливаемых обрезных досок из бруса.

Если один из пропилов расположен в зоне пласти бруса, то количество учитываемых пропилов необходимо определять по выражению

$$i_2 = n. \quad (45)$$

Если два боковых пропила расположены в зоне пласти бруса, то количество учитываемых пропилов необходимо определять по выражению

$$i_3 = n + 1. \quad (46)$$

Число досок, получаемых из бруса, может находиться, как правило, в пределах 3...8 в зависимости от диаметра пиловочника и толщины получаемых обрезных досок из бруса. Тогда потери древесины в опилки (площадь поперечного сечения пропилов) можно определить по формуле

$$Z_{пр} = i \cdot m_H \cdot m_e. \quad (47)$$

С учетом потерь древесины в опилки при распиловке бруса площадь поперечного сечения получаемых обрезных досок из него определится по формуле

$$Z_{дбр} = Z_{бр} - Z_{пр}. \quad (48)$$

С учетом потерь древесины в опилки, получаемых при раскрое бруса, объем обрезных досок определится по формуле

$$Z = Z_{д} + Z_{дбр}. \quad (49)$$

Результаты расчетов

В расчетах принимаем следующие варианты: $i = 0, i = 2, i = 4, i = 6, i = 8$.

Расчеты производятся следующим образом. Прежде всего, принимаем число пропилов i и для этого варианта выполняются расчеты. Вначале задаемся относительной шириной пропила, а затем относительной толщиной бруса в предполагаемом диапазоне 0,2...0,5 с градацией 0,05 и определяем все размеры бруса и досок, а также величину целевой функции. В результате расчета находим диапазон m_H , в котором целевая функция принимает максимальное значение. Далее для этого диапазона производим расчеты с градацией $m_H = 0,01$ и определяем все разме-

Оптимальные относительные размеры бруса и досок для различного количества пропилов при разной относительной ширине пропила

The optimal relative sizes of beams and boards of various amounts of cuts at different relative kerf width

I	m_e	m_H	m_A	m_{b_1}	m_{T_1}	m_{b_2}	m_{T_2}	m_{b_3}	m_{T_3}	$Z_{дбр}$	$Z_д$	Z
0	0	0,359	0,933	0,795	0,123	0,606	0,094	0,359	0,069	0,335	0,360	0,69586
	0,005	0,372	0,928	0,779	0,122	0,582	0,088	0,336	0,059	0,343	0,333	0,67671
0	0,01	0,386	0,922	0,761	0,121	0,554	0,081	0,307	0,049	0,352	0,306	0,65813
	0,015	0,4	0,916	0,742	0,120	0,524	0,075	0,279	0,039	0,360	0,279	0,64019
	0,02	0,415	0,909	0,720	0,119	0,491	0,068	0,246	0,028	0,369	0,254	0,62298
	0,025	0,434	0,900	0,692	0,119	0,443	0,062	0,192	0,017	0,380	0,226	0,60667
	0,03	0,456	0,889	0,656	0,119	0,382	0,054	0,117	0,004	0,392	0,199	0,59161
	0	0,359	0,933	0,795	0,123	0,606	0,094	0,359	0,069	0,335	0,360	0,69586
2	0,005	0,372	0,928	0,779	0,122	0,582	0,088	0,336	0,059	0,341	0,333	0,67485
	0,01	0,385	0,922	0,762	0,121	0,556	0,081	0,312	0,049	0,347	0,306	0,65428
	0,015	0,399	0,916	0,743	0,119	0,527	0,075	0,284	0,039	0,353	0,280	0,63420
	0,02	0,414	0,910	0,721	0,118	0,493	0,068	0,251	0,029	0,360	0,254	0,61469
	0,025	0,433	0,901	0,693	0,118	0,446	0,062	0,197	0,017	0,368	0,227	0,59585
	0,03	0,45	0,893	0,666	0,117	0,402	0,054	0,152	0,006	0,374	0,203	0,57802
	0	0,359	0,933	0,795	0,123	0,606	0,094	0,359	0,069	0,335	0,360	0,69586
4	0,005	0,371	0,928	0,780	0,122	0,584	0,087	0,340	0,059	0,337	0,334	0,67114
	0,01	0,383	0,923	0,764	0,120	0,561	0,081	0,321	0,049	0,338	0,308	0,64660
	0,015	0,396	0,918	0,747	0,119	0,535	0,075	0,299	0,039	0,339	0,282	0,62227
	0,02	0,41	0,912	0,728	0,117	0,505	0,068	0,271	0,029	0,341	0,257	0,59821
	0,025	0,425	0,905	0,705	0,116	0,471	0,061	0,239	0,019	0,342	0,232	0,57449
	0,03	0,443	0,896	0,677	0,116	0,425	0,054	0,192	0,008	0,343	0,207	0,55124
	0	0,359	0,933	0,795	0,123	0,606	0,094	0,359	0,069	0,335	0,360	0,69586
6	0,005	0,37	0,929	0,781	0,121	0,587	0,087	0,345	0,059	0,332	0,334	0,66743
	0,01	0,382	0,924	0,766	0,120	0,564	0,081	0,326	0,049	0,330	0,308	0,63895
	0,015	0,394	0,919	0,750	0,118	0,541	0,074	0,308	0,040	0,326	0,284	0,61041
	0,02	0,407	0,913	0,732	0,117	0,514	0,068	0,286	0,030	0,322	0,259	0,58186
	0,025	0,421	0,907	0,711	0,115	0,483	0,061	0,260	0,020	0,318	0,235	0,55333
	0,03	0,436	0,899	0,689	0,114	0,447	0,054	0,229	0,009	0,313	0,211	0,52489
	0	0,359	0,933	0,795	0,123	0,606	0,094	0,359	0,069	0,335	0,360	0,69586
8	0,005	0,37	0,929	0,782	0,121	0,587	0,087	0,345	0,059	0,328	0,335	0,66373
	0,01	0,381	0,924	0,767	0,119	0,567	0,081	0,331	0,050	0,321	0,309	0,63132
	0,015	0,392	0,919	0,752	0,118	0,546	0,074	0,317	0,040	0,313	0,285	0,59862
	0,02	0,404	0,914	0,736	0,116	0,522	0,067	0,300	0,030	0,304	0,260	0,56564
	0,025	0,417	0,908	0,717	0,114	0,494	0,061	0,279	0,020	0,295	0,237	0,53239
	0,03	0,43	0,903	0,698	0,113	0,466	0,054	0,259	0,010	0,285	0,214	0,49890
	0	0,359	0,933	0,795	0,123	0,606	0,094	0,359	0,069	0,335	0,360	0,69586

ры бруса и досок, а также величину целевой функции. Затем по результатам расчетов находим диапазон m_H , в котором целевая функция принимает максимальное значение. Далее для этого диапазона окончательно производим расчеты при изменении m_H с градацией 0,001 и определяем максимальное значение целевой функции. Этот результат принимаем за искомый вариант решения задачи, так как такая точность расчета вполне достаточна. Результаты расчетов записываем в таблицу.

Результаты расчетов показывают, что с увеличением ширины пропила при первом проходе раскроя бревна толщина бруса возрастает,

а размеры боковых обрезных досок уменьшаются. При раскрое бруса на обрезные доски (второй проход) толщина бруса с увеличением числа пропилов уменьшается, а толщина боковых досок изменяется незначительно. Ширина боковых досок с увеличением количества пропилов при распиловке бруса возрастает. В связи с этим площадь поперечного сечения бруса уменьшается, а площади поперечных сечений боковых досок возрастают.

Анализируя результаты расчетов, следует отметить, что при раскрое двухкантного бруса с числом пропилов $i = 4...6$ и относительной ширине пропила $m_e = 0,01...0,025$ оп-

тимальная относительная толщина этого бруса изменяется в пределах $m_H = 0,38...0,42$ и в среднем составляет 0,4 от диаметра бревна в вершинном торце.

Выводы и рекомендации

Решена задача оптимизации раскроя пиловочника средних размеров с получением бруса и трех пар боковых досок с учетом ширины пропила и количества пропилов при раскрое бруса на обрезные доски. Численным методом получены оптимальные относительные размеры бруса и досок в зависимости от ширины пропила, которые рекомендуется использовать при выборе варианта постава. Подтверждается ранее принятая гипотеза о том, что с увеличением объема бруса объем боковых досок уменьшается и наоборот. Таким образом, имеется такое соотношение размеров бруса и боковых досок, при котором объем этой пилопродукции получается максимальным. С увеличением ширины пропила толщина бруса возрастает, а размеры боковых досок уменьшаются. При раскрое бруса с увеличением количества пропилов оптимальная толщина бруса незначительно уменьшается,

а оптимальные размеры боковых досок незначительно возрастают. Алгоритм решения задачи рекомендуется использовать при расчете и составлении поставок.

Библиографический список

1. Аксенов, П.П. Теоретические основы раскроя пиловочного сырья / П.П. Аксенов. – М: Лесная пром-сть, 1960. – 216 с.
2. Агапов, А.И. Алгоритм определения оптимальных размеров брусьев и досок при раскрое пиловочника брусом-развальным способом / А.И. Агапов // Механика технологических процессов в лесном комплексе: междунар. научно-практическая конференция, Воронеж, 25-27 марта 2014 г. – Воронеж: ВГЛТА, 2014. – С. 287–291.
3. Агапов, А.И. Оптимизация раскроя пиловочника средних размеров при брусом-развальном способе распиловки / А.И. Агапов // Современная наука : актуальные проблемы и пути их решения : 7-я междунар. дистанционная науч. конф., Липецк, 20-21 февраля 2014 г. – Липецк : МАКСИМАЛ, 2014. – С. 16–24.
4. Агапов, А.И. Оптимизация раскроя пиловочника с выпиливанием трех брусьев разной толщины и двух пар боковых досок / А.И. Агапов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: междунар. научно-технич. конф., Вологда, 3–4 декабря 2013 г. – Вологда: ВОГУ, 2014. – С. 62–66.
5. Агапов, А.И. Влияние ширины пропила на оптимальные размеры брусьев и досок при раскрое пиловочника с выпиливанием трех брусьев одинаковой толщины и четырех пар боковых досок / А.И. Агапов // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т.4, № 2. – С. 128–135.

OPTIMIZATION ALGORITHM OF SOLVING THE TASK OF PLANK MEDIUM-SIZED AND LARGE-SIZED LOG CUT BY LOG SQUATTER BREAK-UP METHOD

Agapov A.I., Prof. Vyatka State University, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾

kaf_mtd@vyatsu.ru

⁽¹⁾ Vyatka State University, 610046, Kirov, st. Moscow, 83, Apt. 94

Summary: the mathematical model of plank log cut by cutting out a bar and three pairs of lateral boards taking into account the width has been developed. The mathematical model includes the target function and four equations of link. To solve the mathematical model the method of Lagrange multipliers has been used. The determination of the optimal size of a beam and side boards was carried out by the numerical method. In this regard, the algorithm of solving this problem in relative units has been developed. With increasing width of cut, the beam width increases, and the size of lateral boards decreases. When cutting plank logs with increasing width of the cuts, the beam width is slightly reduced, and the size of lateral boards increases.

Keywords: cutting of logs, a beam and boards, the optimality criterion, mathematical model, the objective function, equations of link, Lagrange method, numerical method, an algorithm of the problem.

References

1. Aksenov P.P. *Teoreticheskie osnovy raskroya pilovochnogo syr'ya* [Theoretical Foundations of cutting sawlogs]. Moscow: Forest Industry, 1960. 216 p.
2. Agapov A.I. *Algoritm opredeleniya optimal'nykh razmerov brus'ev i dosok pri raskroe pilovochnika brusovo-razval'nym sposobom* [The algorithm for determining the optimal size of beams and planks when cutting logs by log squatter method]. Mechanics of technological processes in the forest complex: Intern. Scientific Conference, Voronezh, 25-27 March 2014. Voronezh: VGLTA, 2014. pp. 287-291.
3. Agapov A.I. *Optimizatsiya raskroya pilovochnika srednikh razmerov pri brusovo-razval'nom sposobe raspilovki* [Optimization of cutting logs with a medium-sized lumber sawing break-up method]. Modern science: current problems and their solutions: 7th Intern. Remote scientific. Conf., Lipetsk, 20-21 February 2014. Lipetsk: MAXIMUM, 2014. pp. 16-24.
4. Agapov A.I. *Optimizatsiya raskroya pilovochnika s vypilivaniem trekh brus'ev raznoy tolshchiny i dvukh par bokovykh dosok* [Optimization of cutting sawing logs with three beams of different thicknesses and two pairs of side boards]. Actual problems of forest sector development: Intern. Scientific-Technical. Conf., Vologda, December 3-4, 2013. Vologda: VOGU, 2014. pp. 62-66.
5. Agapov A.I. *Vliyanie shiriny propila na optimal'nye razmery brus'ev i dosok pri raskroe pilovochnika s vypilivaniem trekh brus'ev odinakovoy tolshchiny i chetyrekh par bokovykh dosok* [The effect of cutting width on the optimum size of beams and boards when cutting logs into three beams of the same thickness and four pairs of sideboards]. Vyatka State University, FAM, Dept. of Forestry MTD. 2014. T. 4, № 2. pp. 128-135.

ПРИМЕНЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЛАТЕКСОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ БУМАГ

В.И. АЗАРОВ, *проф.*, МГУЛ, *д-р техн. наук*⁽¹⁾,
В.А. ВИНОСЛАВСКИЙ, *проф.*, МГУЛ, *д-р техн. наук*⁽¹⁾,
А.Н. ЗАРУБИНА, *доц.*, МГУЛ, *канд. техн. наук*⁽¹⁾,
И.В. ЛЮБАВИНА, *асп.*, МГУЛ⁽¹⁾

caf-htdip@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Московский государственный университет леса
141005, Московская область, г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ.

При создании пленок на основе бумаг предлагается использовать в качестве пропиточных составов акриловые и полиуретановые латексные дисперсии. Преимущество применения составов, которые представляют собой дисперсии полимеров на водной основе, заключается прежде всего в отсутствии токсичных веществ, выделяемых при пропитке растворами на основе карбамидо- и меламиноформальдегидных олигомеров, используемых в этих целях. Получены и исследованы пленочные материалы на основе традиционной декоративной бумаги и бумаги с 30 %-ным содержанием полиамидного волокна. Изучение структуры используемых бумаг, проводимое с помощью электронного сканирующего микроскопа PHENOM 2GPro, позволило сделать выводы о возможности их применения для пропитки латексами с дисперсными частицами, размеры которых сопоставимы с размерами пор бумаг и межволоконного пространства. Установлено, что синтетические волокна придают бумаге большую прочность на разрыв и излом, а также высокое сопротивление продавливанию. Но из-за недостаточности сожнутой поверхности бумажного полотна печатные свойства таких бумаг будут низкими, что не позволит наносить качественный рисунок. Пропитку осуществляли составами, содержащими от 3 до 15 % сухого остатка. Причем, оптимальным для декоративных бумаг оказался состав с 10 %-ным содержанием сухого остатка, т.к. дальнейшее его повышение не способствовало существенному улучшению прочностных характеристик пленок, что связано с ограниченной впитывающей способностью бумаг и доказано определениями содержания полимера в готовой пленке. Наибольшей же прочностью обладали материалы на бумажной основе, полученные с использованием акриловой дисперсии. Эффективным пропиточным составом для бумаг, полученных с использованием синтетических волокон, являлся полиуретановый латекс. Было замечено, что пропитка этим составом значительно улучшает такое свойство бумаг, как прочность на излом, что объясняется, по-видимому, химической структурой применяемых полимеров, имеющих высокое сродство друг с другом, а также с целлюлозными волокнами. Следует также отметить, что пленки, полученные пропиткой декоративной бумаги полиуретановой дисперсией, отличались поверхностью с однородным блеском и имели особо привлекательный внешний вид. Высокое значение прочности на излом и сопротивления продавливанию в перспективе может позволить использовать пленки, полученные на основе синтетических бумаг и латексов, для отделки изделий сложной конфигурации. Последующая обработка таких целлюлозно-композиционных материалов каландрированием будет способствовать улучшению их качества при возможном межмолекулярном взаимодействии полимерных компонентов за счет сближения волокон при уплотнении материала, а также за счет направленного ориентирования макромолекул.

Ключевые слова: пропитка, латекс, декоративные бумаги, бумаги с полиамидными волокнами, акриловые, полиуретановые дисперсии, целлюлозно-композиционные материалы, прочность.

С появлением новым композиционных материалов сегодня актуально применение связующих и пропиточных составов для обработки материалов, получаемых с использованием древесины. Особое место среди таких материалов занимают целлюлозно-полимерные композиции на основе бумаг. Широко применяемые при их изготовлении в качестве основы пропиточных составов карбамидо- и меламиноформальдегидные олигомеры не отвечают повышенным современным требованиям прежде всего из-за их токсичности, поэтому предлагается использовать пропиточные составы в виде акриловых и полиуретановых дисперсий на водной основе. Кроме

того, в качестве армирующей основы возможно применение новых видов бумаг, содержащих синтетические волокна.

В результате проведенных ранее исследований было установлено, что свойства выбранных дисперсий позволяют применять их в качестве основы для пропиточных составов [1,2]. Для пропитки была использована традиционная декоративная бумага марки «Дуб ясный 127» массой 70 г/м² и бумага, содержащая 30 % полиамидного волокна.

Изучение структуры используемых бумаг проводилось с помощью электронного сканирующего микроскопа PHENOM 2GPro. На рис. 1 представлен снимок образца бумаги

Физико-механические свойства используемых бумаг
Physical and mechanical properties of paper used

Свойства бумаг		Декоративная бумага	Бумага с синтетическими волокнами
Масса м ² , г		70	90
Разрушающее усилие, Н	Машинное направление	25,6	39,3
	Поперечное направление	20,4	29,1
Прочность на излом, кол-во перегибов	Машинное направление	4	26
	Поперечное направление	2	19
Воздухопроницаемость, мл/мин		527	785
Сопротивление продавливанию, Н	Лицевая сторона	8,7	367
	Сеточная сторона	8,5	348

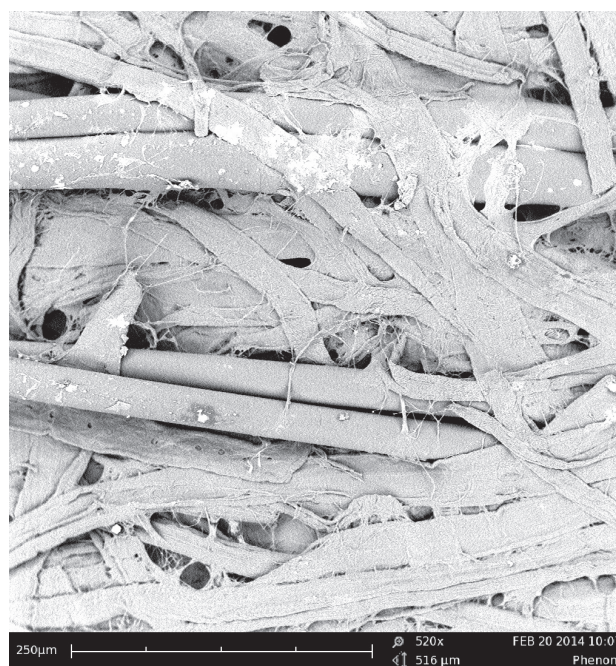
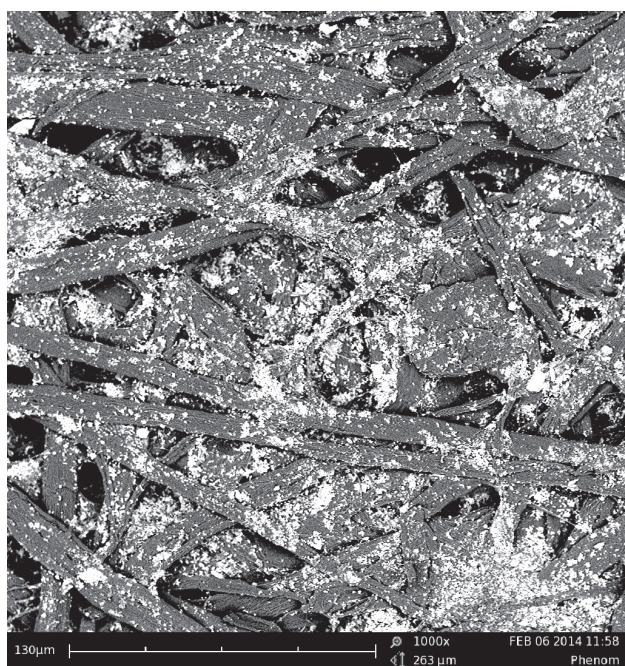


Рис. 1. Бумага с синтетическими волокнами при 520-кратном увеличении
 Fig. 1. The paper with synthetic fibers at 520 times magnification

Рис. 2. Декоративная бумага при 1000-кратном увеличении
 Fig. 2. Decorative paper at 1000 times magnification

с синтетическими волокнами, полученный в режиме электронного сканирования. Синтетические полиамидные волокна представляют собой стержни толщиной 20–40 мкм.

Как видно из данных табл. 1, эти волокна придают бумаге большую прочность на разрыв и излом, а также высокое сопротивление продавливанию. Но из-за недостаточно сомкнутой поверхности бумажного полотна печатные свойства таких бумаг будут низкими, что не позволит наносить качественный рисунок [3]. Это обусловлено наличием больших пор и увеличением пространства между волокнами

целлюлозы (около 100 мкм) при добавлении к ним полиамидных волокон (рис. 1). Пропитка же таких видов бумаг может осуществляться составами с относительно крупными частицами (10–100 мкм), в частности латексами выбранных марок. В декоративной бумаге волокна расположены более плотно, расстояния между ними меньше в 3–4 раза (рис. 2). Высокое значение прочности на излом и сопротивления продавливанию в перспективе может позволить использовать пленки на основе бумаг с синтетическими волокнами для отделки изделий сложной конфигурации.

Показатели пленок на основе декоративной бумаги
The index of films based on decorative paper

Содержание сухих веществ в пропиточном составе, %		Вид дисперсии											
		Гипур-101				Рузин-12				Рузин-33			
		3	5	10	15	3	5	10	15	3	5	10	15
Разруш. усилие во влажном состоянии, Н	Машин. направление	8,8	10,5	15,8	15,9	12,7	14,8	17,1	17,9	10,8	12,3	14,5	14,8
	Попереч. направление	7,5	9,8	14,6	15,2	11,4	13,7	16,3	17,1	10,3	11,9	13,8	14,3
Разруш. усилие, Н	Машин. направление	34,6	35,7	43,2	44,2	37,9	38,7	47,1	48,3	30,5	32,6	42,7	43,3
	Попереч. направление	22,7	33,39	44,	441,5	228,7	335,8	443,2	444,0	228,6	330,7	339,9	440,8
Прочность на излом, кол-во перегибов	Машин. направление	9,0	18,5	78,5	82,5	15,6	21,5	32,0	33,8	8,4	10,5	24,5	25,2
	Попереч. направление	5,5	17,0	69,5	71,0	10,3	18,5	28,9	29,7	6,9	9,0	23,7	24,1
Толщина, мкм		120	124	130	142	120	123	129	135	121	125	129	137
Сопротивление продавливанию, Н		108	130,5	193	195	118	187	172	188	110,1	117	145	150

Т а б л и ц а 3

Показатели пленок на основе синтетической бумаги
The index of films based on synthetic paper

Содержание сухих веществ в пропиточном составе, %		Вид дисперсии											
		Гипур-101				Рузин-12				Рузин-33			
		3	5	10	15	3	5	10	15	3	5	10	15
Разруш. усилие во влажном состоянии, Н	Машин. направление	61,2	64,9	68,3	72,5	55,9	59,1	62,3	71,4	58,1	59,6	61,3	63,4
	Попереч. направление	30,6	35,8	38,9	41,8	33,1	36,6	39,0	39,2	34,9	37,1	40,0	41,1
Разруш. усилие, Н	Машин. направление	70,5	71,5	80,4	84,7	68,5	68,7	76,3	88,1	63,0	68,5	70,9	72,0
	Попереч. направление	45,8	47,0	47,4	57,7	47,5	47,5	52,6	51,8	40,3	45,1	45,4	50,5
Прочность на излом, кол-во перегибов	Машин. направление	51,2	80,9	95,3	110	24,1	30	35,9	43	20,9	25,4	40	45
	Попереч. направление	40,5	74,5	80,6	98	20,1	25,6	30,8	37,6	15,6	17,5	51,5	34,9
Толщина, мкм		180	183	195	199	150	156	190	196	154	170	193	195
Сопротивление продавливанию, Н		280	308	334	358	278	292	330	410	252	268	320	322

Для пропитки декоративной и синтетической бумаги использовали акриловые дисперсии на водной основе марок Рузин-12 и Рузин-33 и полиуретановую дисперсию марки Гипур-101. Содержание сухого остатка в пропиточных растворах составляло 3,5,10 и 15 %, что соответствует установленному в предыдущих исследованиях диапазону значений сухого вещества пропиточных растворов на основе синтетических латексов [4]. После пропитки и сушки образцов бумаг проводи-

лись измерения основных физико-механических показателей полученных пленок, результаты которых представлены в табл. 2 и 3.

При определении разрушающего усилия во влажном состоянии с увеличением содержания сухих веществ в пропитывающем составе с 3 до 10 % наблюдалось возрастание этого показателя как для декоративной бумаги-основы, так и для бумаги с синтетическими волокнами. При дальнейшем повышении содержания полимера в пропиточном составе до

15 % для декоративной бумаги это увеличение было несущественным (табл. 1,2), что связано с ограниченной впитывающей способностью бумаг и доказано определениями содержания полимера в готовой пленке. Причем, наибольшей прочностью обладали пленки, полученные с использованием дисперсии марки Рузин-12 (акриловая дисперсия). Для бумаг с синтетическими волокнами значения определяемого показателя были значительно выше, что объясняется изначально более высокой прочностью этих видов бумаг, а наиболее эффективным пропиточным составом для них оказался полиуретановый латекс. Было замечено, что пропитка этим составом значительно улучшает такое свойство бумаг с синтетическими волокнами, как прочность на излом (в 3 раза).

Пропитка декоративных бумаг полиуретановым латексом значительно повышает сопротивление продавливанию (на 80 %), тогда как для бумаг с синтетическими волокнами этот показатель удается увеличить в среднем на 28 %. Толщина бумаг после пропитки возрастает в 1,2–1,4 раза, что улучшает кроющую способность пленок и позволит нивелировать неидеальные по шероховатости, а также темные поверхности.

Следует отметить, что пленки, полученные пропиткой декоративной бумаги полиуретановой дисперсией Гипур-101, отличались поверхностью с однородным блеском и имели привлекательный внешний вид, что характерно для такого рода покрытий [5].

Содержания полимера в пленке на основе декоративной бумаги, пропитанной составом с содержанием сухого вещества 10 %, составило 5 г/м² (3,5 %), на основе бумаги с синтетическими волокнами – 7 г/м² (4,9 %), что подтверждает предположение о высокой впитывающей способности бумаг с синтетическими волокнами.

Таким образом, пропитка содержащих полиамидные волокна бумаг составами на основе синтетических латексов приводит к значительному улучшению прочностных характеристик получаемых пленок, особенно при использовании полиуретанового латекса, что объясняется химической структурой данных полимеров, имеющих высокое сродство друг

с другом, а также с целлюлозными волокнами [6–8].

Известно, что одним из методов повышения прочности целлюлозно-полимерных композиций является операция каландрирования пропитанного и высушенного бумажного полотна [9]. Поэтому в дальнейших исследованиях предполагается осуществить данную обработку полученных образцов пленок, что будет способствовать улучшению их качества при возможном межмолекулярном взаимодействии полимерных компонентов за счет сближения волокон при уплотнении материала, а также за счет направленного ориентирования макромолекул.

Так как полимерные латексные дисперсии на водной основе и бумаги с синтетическими волокнами обладают необходимыми технологическими свойствами, позволяющими применять их в производстве декоративно-защитных пленок, работы по созданию таких материалов целесообразно продолжить.

Библиографический список

1. Азаров, В.И. Применение синтетических латексов для получения пленок на основе различных видов бумаг / В.И. Азаров, В.А. Винославский, А.Н. Зарубина и др. // Науч.тр. МГУЛ, вып. «Технология и оборудование для переработки древесины». – М.: МГУЛ, 2014. – С. 83–87.
2. Азаров, В.И. Формирование нанокристаллических структур в декоративно-защитных покрытиях / В.И. Азаров, В.А. Винославский, А.Н.Зарубина и др.//Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – №7(90) – С. 95–97.
3. Фляте, Д. Свойства бумаги / Д. Фляте. – М.: АНО «Литературное Агентство «Профессионал», 2010. – С. 12.
4. Винославский, В.А. Декоративно-защитные бумажные материалы на основе термопластичных связующих / В.А. Винославский, В.И. Азаров, Т.П. Морозова // Деревообрабатывающая пром-ть. – 1992. – №6. – С. 13–15.
5. Винославский, В.А. Декоративно-защитные покрытия на основе полиуретановых латексов / В.А. Винославский, В.И. Азаров, А.Н.Зарубина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – №3(86) – С. 137–140.
6. Аверко-Антонович, И.Ю. Синтетические латексы: химико-технологические аспекты синтеза, модификации, применения / И.Ю. Аверко-Антонович. – М.: Альфа-М, 2005. – 680 с.
7. Перепелкин, К.Е. Химические волокна: методы получения, свойства, применение / К.Е. Перепелкин. – М.: Научные основы и технологии, 2010. – С. 34.
8. Кочнев, А.М. Физикохимия полимеров / А.М. Кочнев, А.Е. Заикин, С.С. Галибеев и др. – Казань: Изд-во «Фэн», 2003. – 512 с.
9. Азаров, В.И. Влияние каландрирования на свойства декоративно-защитных пленок / В.И. Азаров, В.А. Винославский, Т.П. Морозова // Тр. Химико-механическая переработка древесины. – М.: МЛТИ, 1991. – Вып.237. – С. 60–62.

APPLICATION OF SYNTHETIC LATEXES FOR PLASTIC SHEETING PRODUCTION
BASED ON DIFFERENT TYPES OF PAPER

Azarov V.I., Prof. MSFU, Dr. Sci (Tech.), ⁽¹⁾; Wieslawski V.A., Prof. MSFU, Dr. Sci (Tech.), ⁽¹⁾; Zarubina A.N., Assoc. Prof. MSFU, Ph. D.. (Tech.), ⁽¹⁾; Lyubavina I.V., pg. MSFU⁽¹⁾

caf-htdip@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Moscow state forest University. Address: 141005, Moscow region, Mytischki-5, ul 1-ya Institutskaya str., 1, MSFU.

When creating a film based on different kinds of paper it is proposed to use acrylic and polyurethane dispersions as impregnating composition. The advantage of applying the compounds which are aqueous dispersions based on polymers, is primarily the absence of toxic substances released during impregnation with solutions based on melamine and urea oligomers used for these purposes. The film materials based on traditional decorative paper and paper with a 30 % content of polyamide fiber have been developed and studied. The study of the structure of various kinds of paper used, carried out with a scanning electron microscope PHENOM 2G Pro, allowed to make conclusions about the possibility of their use to be impregnated with latex containing dispersed particles of sizes comparable with pore sizes of paper and interfiber space. It has been found that the synthetic fibers make paper stronger and more tensile, providing high burst strength. But due to insufficient surface closeness of the paper web the printing properties of such kinds of paper will be low which makes it impossible to provide high-quality drawing on them. The impregnation was carried on with compositions containing from 3 to 15 % solids. Moreover, the composition with 10 % solids has appeared to be optimal for decorative papers because the percentage further increase did not contribute to significant improvement of strength properties of the films, due to the limited absorption capacity of papers, and this was proved by determining the content of the polymer in the final film. The paper-based materials obtained by using acrylic dispersions have shown the best strength. The best composition for impregnating paper, produced by using synthetic fibers is a polyurethane latex. It was observed that impregnation with this composition significantly improves paper properties such as breaking strength, due to, apparently, the chemical structure of the polymers used because they have a high affinity with each other and with the cellulose fibers. It should also be noted that the films produced by impregnating a decorative paper with polyurethane dispersion have a surface with uniform gloss which features them and have a particularly attractive appearance. The high value of fracture toughness and resistance to bursting in the future may permit the use of films obtained with synthetic paper and latexes for finishing articles of complex configuration. Subsequent processing of pulp and composite materials by calendaring will improve their quality due to the intermolecular interaction of the polymer components by compaction convergence of fibers material, and also due to the directional orientation of the macromolecules.

Keywords: impregnating, latex, decorative paper, paper with polyamide fibers, acrylic, polyurethane dispersions, pulp and composite materials strength.

References

1. Azarov V.I., Vinoslavskiy V.A., Zarubina A.N., Lyubavina I.V. *Primenenie sinteticheskikh latexov dlya polucheniya plenok na osnove razlichnykh vidov bumag* [Using of syntetic latexes for paper coatings]. Scientific works MSFU, «Technology and equipment of wood recycling». Moscow: MSFU, 2014, pp. 83-87.
2. Azarov V.I., Vinoslavskiy V.A., Zarubina A.N., Kondrat'ev A.V. *Formirovanie nanokristallicheskikh struktur v dekorativno-zashchitnykh pokrytiyakh* [Formation of nanocrystal structures in decorative and protective coatings]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2012. № 7 (90), pp. 95-97.
3. Flyate. D. *Svoystva bumagi* [Paper properties]. Moscow: Literary agency «Professional», 2010, p. 12.
4. Vinoslavskiy V.A., Azarov V.I., Morozova T.P. *Dekorativno-zashchitnye bumazhnye materialy na osnove termoplastichnykh svyazuyushchikh* [Paper decorative and protective coatings based on termoplastic binder]. Moscow: Publ Woodworking industry. 1992, № 6, pp. 13-15.
5. Vinoslavskiy V.A., Azarov V.I., Zarubina A.N. *Dekorativno-zashchitnye pokrytiya na osnove poliuretanovykh latexov* [Decorative and protective coatings based on polyurethane latexes]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2012. № 3(86), pp. 137-140.
6. Averkko-Antonovich I.Yu. *Sinteticheskie lateksy: Khimiko-tehnologicheskie aspekty sinteza, modifikatsii, primeneniya* [Chemical and technological aspects of synthesis, modifacations and usage of polyurethane latexes]. Moscow: Al'-fa-M, 2005, pp. 680.
7. Perepelkin K.E. *Khimicheskie volokna: metody polucheniya, svoystva, primeneniya* [Chemical fibers: Methods of synthesis, properties, application] Publ. Nauchnye osnovy i tekhnologii [Scientific bases and technologies]. Moscow, 2010, p.34.
8. Kochnev A.M., Zaikin A.E., Galibeev S.S., Arkhireev V.P. *Fizikokhimiya polimerov* [Polimer physics and chemistry]. Kazan: Publ. Fen, 2003, pp. 5.
9. Tsoy B., Kartashov E.M., Shevelev V.V., Valishin A.A. *Razrushenie tonkikh polimernykh plenok i volokon* [Destruction of thin polymer films and fibres]. Moscow: Publ. Chemistry. 1997, pp.24-30.
10. Azarov V.I., Vinoslavskiy V.A., Morozova T.P. *Vliyanie kalandrirovaniya na svoystva dekorativno-zashchitnykh plenok* [The effect of calendaring for decorative and protective films` properties]. Publ. Chemical and mechanical wood processing. Moscow: Publ. MSFU, 1991, № 237, pp. 60-62.

УДК 674.81

ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНО ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕССОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.В. ГАЙДА, доц., докторант, Национальный лесотехнический университет Украины, канд. техн. наук⁽¹⁾

gaida@e-mail.ua

⁽¹⁾ Национальный лесотехнический университет Украины, Львов, Украина 79057, ул. Генерала Чупринки, 103, м. Львов, Украина

Рассчитан потенциал древесной биомассы – вторично используемой древесины (ВИД), который составил в 2013г. в Украине 2,1 млн т. Использован системный подход к переработке ВИД в технологиях деревообработки. Экспериментально подтверждена технологическая возможность использования ВИД в производственных процессах с изготовлением стружечной плиты и топливных гранул. Установлены закономерности влияния использования ВИД на физико-механические свойства полученной продукции. Разработаны практические рекомендации по использованию ВИД в деревообработке.

Ключевые слова: вторично используемая древесина, потенциал ВИД, древесностружечные плиты, топливные гранулы, физико-математические модели, переработка, технологии деревообработки, практические рекомендации.

В настоящее время в деревообработке существуют две основных проблемы – первичного сырья и отходов, в частности вторично используемой древесины (ВИД) [10]. Только комплексный и рациональный подход к использованию древесного материала на основе экономических и экологических соображений станет эффективным для выполнения и решения основных задач государства в области деревообработки. Потенциальным ресурсом и неиспользованной базой древесного сырья, запасы которого увеличиваются по мере развития промышленности и хозяйства в целом, есть запасы ВИД. Решение поставленной проблемы осложняется разнообразием ВИД, наличием металлических и других включений, а также различных видов загрязнителей (антипиренов, антисептиков, инсектицидов и др.) у ВИД, которые из-за некорректной сортировки и очистки могут вызвать значительные отклонения результатов прогнозирования свойств полученной продукции от свойств изделий, полученных из первичного сырья, что является неприемлемым для потребителей. Исследования отечественных и зарубежных ученых по данной проблеме касаются, в основном, использования производственных древесных отходов без привлечения ВИД к процессу переработки – изготовлению изделий из нее [13, 14]. Результаты исследований свидетельствуют,

что данная проблема не является полностью решенной, поскольку не разработаны научные базы и практические рекомендации для эффективных производственных процессов с прогнозированием свойств продукции с ВИД. Во многих странах ученые широко изучали ВИД, особенно ее загрязненность, которая стала определяющей по ее классификации, т.е. принадлежности к той или иной группе, и, на основании этого, будущего использования. Например, в Германии принято «Положение о регулировании вторично используемой древесины», где приведены особенности обращения с этими отходами [15].

Таким образом, обоснование научно-технической базы, разработка ресурсосберегающих и экологобезопасных технологий, установление закономерностей влияния использования ВИД на физико-механические показатели полученной продукции, разработка режимных параметров и формирование практических рекомендаций, подтвержденных результатами экспериментальных исследований, является важной проблемой. Актуальность исследований – обеспечение отраслей деревообработки альтернативным дополнительным ресурсом путем переработки ВИД на прессованные материалы: стружечные плиты [1, 11] и топливные гранулы [2, 12]. Реализацию проблемы осуществляли в несколько этапов: оценка состояния воп-

Потенциал вторично используемой древесины в Украине в 2013 г.
The potential of recycled wood in Ukraine in 2013

Отходы потребления (ВИД)	W- %	Объем, млн т	Потенциал/год		
			млн т у.т.	ПДж	Млрд квт- час
Изделия от торговли (тара, поддоны)	15	0,315	0,173	5,077	1,410
Изделия строительные древесные	18	0,483	0,255	7,482	2,078
Изделия из промышленности древесные	20	0,126	0,065	1,899	0,528
Изделия из помещений (мебель и т.д.)	10	0,273	0,160	4,686	1,302
Муниципальные отходы древесины	40	0,357	0,121	3,542	0,984
Твердые бытовые отходы (3,4 %)	35	0,441	0,164	4,800	1,333
Другие	30	0,105	0,043	1,262	0,350
Всего ВИД	25	2,100	0,981	28,749	7,986

роса, актуальность, цель и задачи исследований; обоснование классификации и расчет потенциала и баланса ВИД; методика проведения экспериментальных исследований; моделирование технологических процессов; результаты экспериментальных исследований; разработка технологических процессов; практические рекомендации по использованию ВИД.

Цель работы – исследование возможности и выяснения особенностей использования ВИД в технологических процессах деревообработки.

Объект исследования – ресурсосберегающие технологии использования ВИД.

Предмет исследования – физико-математические модели и практические рекомендации по использованию ВИД в технологиях деревообработки.

Общая характеристика ВИД. ВИД – это используемая древесина и любые изделия из нее, которые образуются в процессе производства и жизнедеятельности человека, в результате техногенных или природных катастроф, не имеющая дальнейшего назначения по месту образования и подлежащая удалению или переработке с целью обеспечения защиты окружающей среды и здоровья людей или для повторного вовлечения в хозяйственную деятельность как материально-сырьевых и энергетических ресурсов [6].

Определение потенциала ВИД. Расчет потенциала ВИД выполнен на основе информационный статистических данных Государственного агентства лесных ре-

сурсов Украины по заготовке древесины в 2013 г., объем которой составил 12,76 млн т. (18,23 млн плотных м³) [7]. Считая, что уровень потребления древесины зависит от экспорта-импорта, которые компенсируют друг друга в общем балансе сырья, объем образования ВИД рассчитывали от объема годовой заготовки в количестве 13 % (общепринятый в ЕС расчет), что составило в 2013 г. 1,659 млн т. Кроме того, в Украине ежегодно в населенных пунктах образуется в среднем 50–60 млн м³ твердых бытовых отходов (ТБО), где часть ВИД составляет 2–4 %. По данным Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства, в 2013 г. образовалось 13 млн т ТБО, из которых 0,441 млн т (3,4 %) ВИД. Таким образом, потенциал ВИД в 2013 г. составил 2,1 млн т (табл. 1). А количество ВИД на каждого жителя Украины из 43 млн чел. (01.06.2014 г.) – 49 кг.

Варианты управления ВИД. Возможные варианты управления ВИД представлены на рис. 1. В зависимости от категории ВИД эти отходы могут быть использованы как для переработки для производства новой продукции или аналогической продукции меньших размеров, так и для производства энергии – электричества и тепла. Поэтому ученые НЛТУ Украины продолжают поиск новых технологий для утилизации этих отходов [8, 9]. Необработанная древесина категория ВИД-I и значительная часть категории ВИД-II, прежде всего, предназначены для переработки как вторичное сырье. Цель перера-

Сценарии для управления ВИД (млн т/год)
Scripts for Managing VIEW (mln. T / year)

Сценарии для Украины	Энергия	Перераб.	Другое исп.	% энергии
Потенциал 2013 г. (предположение)	0,50	0,21	1,39	24 %
С-1: Переработка и энергия	1,05	1,05	–	50 %
С-2. Производство только энергии	2,10	–	–	100 %
С-3: Максимальная переработка	0,42	1,68	–	20 %

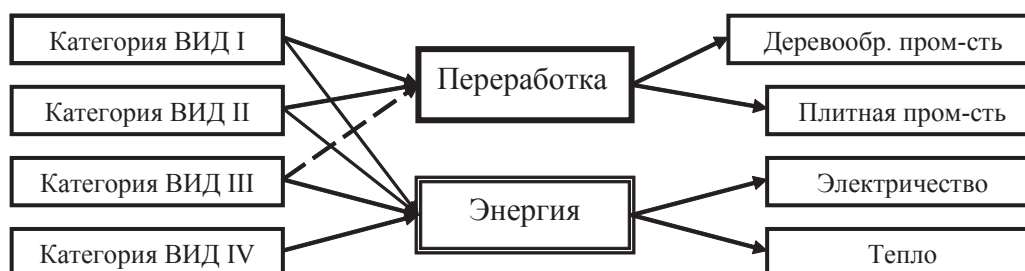


Рис. 1. Выбор управления вторично используемой древесины
Fig. 1. Selection of control of recycled wood

ботки различной древесины, которая прошла все виды сортировки и распределения по категориям – получение технологической щепы для использования в качестве сырья при производстве ДСП, топливных гранул и брикетов. Проблема утилизации отходов категории ВИД-IV (например деревянных шпал, пропитанных антисептиками) – острейшая для транспортной отрасли. Ведутся исследования по использованию измельченной ВИД-IV в качестве топлива и соответствии их Директивам ЕС 94/67 от 16 декабря 1994 г. по сжиганию вредных отходов. Использование вредных древесных отходов в качестве топлива стало возможным благодаря выработке оптимальных режимов работы котловых агрегатов.

Возможные сценарии управления ВИД в Украине. Точное количество ВИД, которая используется для производства энергии и переработки в Украине, неизвестно. Поэтому необходимо проанализировать различные сценарии использования ВИД по расчетным потенциалам определенного года, в частности объемов 2013 г.

В табл. 2 рассмотрены три сценария использования ВИД, оцененной в потенциальном количестве 2,1 млн т для 2013 г.: С-1 – паритетное использования (50/50 %) как для переработки, так и для энергии; С-2 –

производство только энергии; С-3 – максимальная переработка, но не больше 80 %. Обладая средней теплотворной способностью 3280 ккал/кг, получим из 2,1 млн т ВИД энергии в количестве 28,8 ПДж/год (8,0 млрд квт-час/год), что составляет 4 % годового использования энергии в Украине.

Экологические аспекты управления ВИД. За С-2 (рис. 2) производится наибольшее количество энергии – 28,8 ПДж/год, при этом нужно наибольшее количество свежей древесины 1,6 млн т/год. Тогда как за С-3 при максимальной переработке получаем минимальное количество энергии – 5,9 ПДж/год. При паритетном использовании ВИД получаем 20,3 ПДж/год, но дополнительно нужно 0,6 млн т/год свежей древесины.

Из этого вытекает: доля ВИД, которая используется для выработки энергии, обобщенно влияет на результаты. Для сценария 1 «Производство электроэнергии и переработка» эта доля составляет 50 %, для сценария 2 «Производство только электроэнергии» – 100 %, а по сценарию 3 «Максимальная переработка» – лишь 20 %. На рис. 2 показано дополнительное количество ископаемого топлива, необходимого для энергетики и для переработки и необходимый дополнительный объем свежей древесины. Увеличение количества ВИД, которая используется для производства

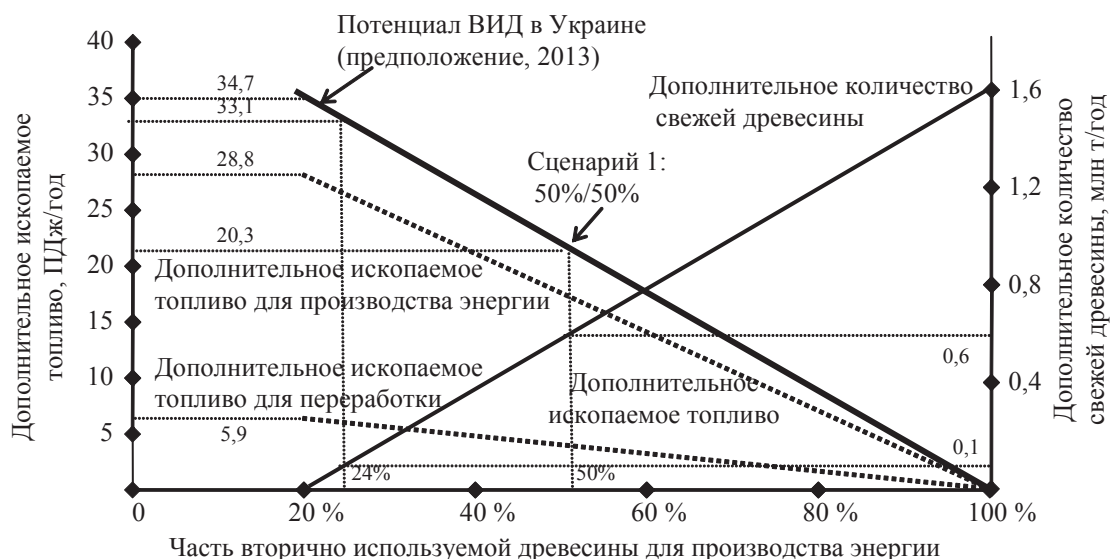


Рис. 2. Дополнительные ископаемое топливо и количество свежей древесины относительно части ВИД, которая используется для получения энергии вместо переработки
 Fig. 2. Additional fossil fuel and the amount of fresh wood as compared to a part of VIEW which is used to produce energy instead of recycling

энергии, приводит к уменьшению количества ископаемого топлива, но к увеличению дополнительного количества свежей древесины. Сценарий 3 «Максимальная переработка» не требует дополнительной свежей древесины, но требует высокого количества дополнительного ископаемого топлива – около 34,7 ПДж/год, тогда как сценарий 2 «Производство только электроэнергии» имеет наибольшую потребность в свежей древесине – около 1,6 млн т/год, но нет необходимости в дополнительном ископаемом топливе. Сценарий 1 «Производство электроэнергии и переработка» имеет дополнительный спрос около 0,6 млн т/год свежего дерева и дополнительного количества ископаемого топлива около 20,3 ПДж/год.

Технологические аспекты подготовки ВИД к переработке для создания пресованных материалов. В соответствии с целью работы по исследованию возможностей и выяснения особенностей переработки ВИД в технологических процессах деревообработки на основе системного анализа предложено использовать очищенную ВИД в измельченном виде для стружечных плит и топливных гранул.

Для подготовки ВИД для производственных ресурсосберегающих технологических процессов по производству вы-

шеприведенной продукции разработаны типовые технологические процессы: первый – по сортировке, сегрегации и первичной (внешней) очистке; второй – по измельчению и поэтапной очистке с дополнительным измельчением.

После проведения операций сбора, транспортировки и накопления ВИД на сырьевых складах заводов по переработке проводят идентификацию по четырем категориям (ВИД-I...IV); сортировке по материалу (массив, плита), породе и др.; сегрегацию по влажности, загрязнениям и др.; индикацию на недопустимые химикалии. Сортировку, в основном, ведут визуально, но рекомендуется использовать тест-индикаторы или другие методы для обнаружения химических загрязняющих веществ.

Уровень сегрегации и сортировки материала может варьироваться от места к месту, и нет стандартной практики на месте складирования. Уровень нежелательного загрязнения материала, поступающего для обработки, в том числе после предварительной сортировки и частично обработанной ВИД, не может быть определен точно.

После разделения по виду материала и идентификации по качеству проводят операцию наружной очистки от металлических и других видимых включений. Выявление

металлических элементов осуществляют с помощью металлодетекторов, которые могут быть установлены для каждого вида материала. Внешняя очистка загрязненной ВИД осуществляется в несколько этапов. Наиболее актуальным представляется способ очистки ВИД иглофрезерными станками, например, для снятия лакокрасочного материала и материала облицовок, включая ПВХ-пленки из старых мебельных, столярно-строительных и других изделий. Чистая ВИД поступает непосредственно на измельчение.

Установлено, что на практике, в зависимости от источника древесины и уровня сортировки, физические загрязнители, такие как гвозди и другие включения, будут присутствовать в большинстве ВИД, отправленной на переработку. При непосредственном попадании ВИД в производственный процесс ее измельчают шредерами. Этот процесс может быть описан как измельчение, скалывание, перемалывание, дробление. После такого измельчения физические загрязнения удаляют с помощью различных средств, в том числе транспортеров с магнитными подвесками. Это этап, который уменьшает и контролирует размер частиц, а также удаляет загрязнения больших размеров, в том числе черные металлы.

После чего измельченные отходы перерабатываются на щепу методами дробления. Первоначальная цель заключается в создании основной фракции древесной щепы, которая подходит для подачи в общий поток для производства композиционных материалов. Предложено основным критерием для щепы на первом этапе принимать максимальный размер до 50 мм в любом измерении, исключая частицы размером до 5 мм.

Второй этап измельчения обычно необходим для достижения минимального размера щепы. Рекомендовано, во избежание поломок мельницы, проводить дальнейшую очистку, исключая из потока мелкую фракцию – пыль. Сетевые экраны способны разделять основную щепу с различными размерами частиц. Если на заводе одна измельчающая машина, предложено сортировку щепы производить с помощью плоских экранов на три или четыре

различных размера частиц, и также исключать фракции материала до 5 мм.

Для извлечения цветных металлов (алюминий, латунь, медь, нержавеющая сталь) рекомендован вихретоковый сепаратор как отдельное устройство. Это устройство, как правило, статическое с электрическим приводом. Современные мобильные шредеры имеют уже встроенный сепаратор цветных металлов.

Таким образом, разработана **технология по измельчению и очистке ВИД**, которая должна иметь следующие операции и оборудование производственного процесса: для измельчения различной ВИД – мощный измельчитель – шредер; рубильную машину с сетчатым вкладышем для калибровки щепы; ленточный транспортер, линию подачи на измельчение, линию измельчения, для начального удаления металлов – металлоискатель, устройство для удаления тряпок и волокон, которые присутствуют в потоке частиц, оборудование для удаления легких загрязнений (бумага, нейлон, волокно и т.д.), динамический классификатор для разделения некондиционной щепы (стружки), которая поступает на доизмельчение, бункеры для складирования и дозирования щепы, металлодетектор для повторного высокоэффективного удаления металлов, устройство сортировки на три фракции, циклон для гравиметрической очистки мелкой фракции, дисковый сепаратор для пневматической сортировки и удаления песка из мелкой фракции, а также для кинетической очистки микро- и макрощепы, магнитный конвейер для удаления цветных металлов (алюминий, медь, латунь и т.д.), дробилку для переработки накоплений бракованных частиц из всех отборщиков, а также системы аспирации и фильтрации пыли по всему оборудованию и транспортировке фракций к бункерам дозирования. Установлено, что отсортированная щепка из ВИД первой и второй категории характеризуется содержанием кондиционной фракции (не менее 80 %) и соответствует требованиям к щепе ПС согласно ГОСТ 15815-83 «Щепка технологическая».

Рекомендовано подготовленную щепу из ВИД после сушки, кондиционирования,

Анализ фракционного состава (%) и коэффициентов анизотрии
Analysis of fractional composition (%) and the anisometric view coefficients

Название	Содержание фракции / Значения коэффициентов анизотрии							
	-/10	10/7	7/5	5/3	3/2	2/1	1/0,5	0,5/0
ПД	0,5	2,3	2,6	32,1	28,9	20,6	10,6	2,4
ВИД	0,4	1,0	1,8	28,3	25,2	19,3	19,1	4,9
Коэфф. анизотрии ПД	23,75	28,74	42,26	39,44	38,78	33,41	25,63	–
Коэфф. анизотрии ВИД	21,54	23,08	23,37	29,41	28,33	20,37	16,20	–

охлаждения и кратковременного хранения отправлять для изготовления продукции.

Свойства стружек из ВИД для производства ДСП. Важной характеристикой древесных частиц из ВИД является фракционный состав и размер стружек. Результатами исследований установлено, что содержание фракций ВИД практически не отличается от фракционного состава первичной древесины (ПД) для производства ДСП (табл. 3), хотя количество пыли ВИД (фракция 1/0) в два раза больше. Анализ геометрических размеров стружки из ВИД показал, что коэффициент анизотрии (отношение длины к толщине) у них на 30 % меньше, чем у ПД, и составил 23,2, что связано с особенностями дробления ВИД, но пребывает в пределах нормы – 20–40.

Характеристика частиц из ВИД для производства топливных гранул. Определены гранулометрический состав с использованием вибрационного сита с отверстиями 3,15 мм и меньше. Фракционный состав стружек для различных проб ВЖД по результатам экспериментов составлял

- < 3,15 мм – 97,2–98,1 %;
- < 2,0 мм – > 90,3–91,4 %;
- < 1,0 мм – > 54,7–62,2 %;
- < 0,1 мм – < 2,8–4,3 %,

что соответствует требованиям стандарта ГОСТ Р 54189-2010 [3].

Свойства ДСП из ВИД. При выборе критериев оценки результатов изготовления плит из ВИД необходимо учитывать технологическую и экономическую часть. Эти требования обусловлены тем, что плиты и ВИД должны соответствовать требованиям плит марки П-А ГОСТ 10632:2007 [4], а их себестоимость не должна превышать себестоимости

плит из ПД. На основе разработанной технологии проведен многофакторный эксперимент с использованием ПФП-2³ и реализована матрица планирования согласно методике эксперимента. Исследовано влияние содержания ВИД во внутреннем слое (P₁) и во внешних слоях (P₂) в диапазоне 20–100 %, а также содержания клея (K) в диапазоне 7–16 % на физико-механические свойства ДСП – прочность при статическом изгибе (σ_{из.}), при растяжении перпендикулярно к пласти плиты (σ_p) и разбухании по толщине (Δh). Получены адекватные математические модели зависимости показателей ДСП от трех переменных факторов

$$\begin{aligned} \sigma_{из} &= 8,145 - 0,00039 \cdot P_1 - 0,0053 \cdot P_2 + 0,729 \cdot K; \\ \sigma_p &= 0,442 - 0,00088 \cdot P_1 - 0,0015 \cdot P_2 + \\ &\quad + 0,0136 \cdot K + 0,000083 \cdot P_2 \cdot K; \\ \Delta h &= 19,37 - 0,0021 \cdot P_1 - 0,0031 \cdot P_2 - 0,288 \cdot K. \end{aligned}$$

Установлено, что при плотности 700 кг/м³ плиты из ВИД (100 %) имели, в зависимости от содержания ВИД (20–100 %) и расхода клея, на 8–10 % меньшую прочность при статическом изгибе и на 12–32 % меньше – при растяжении перпендикулярно к пласти плиты, чем при содержании ВИД 20 %, и при этом отвечали требованиям к плитам марки П-А.

Свойства топливных гранул из ВИД. Исследовано влияние содержания ВИД Pс (0–100 %), влажности стружек Mс (8–16 %) и содержания добавок Ас (0–3 %) на физико-механические свойства топливных гранул из ВИД – влажность (M, %), зольность (А, %), механическая прочность (DU, %), истираемость F, %, теплотворная способность (Q, МДж/кг), насыпная плотность (BD, кг/м³), которые были определены стандартными методами.

По результатам реализации полнофакторного плана ПФП-2³ получены адекватные математические модели зависимости показателей топливных гранул от трех переменных факторов: содержания ВИД, влажности стружек и содержания добавок

$$M = 2,23 - 0,005Pc + 0,606Wc + 2,16Ac - 0,0003PcWc - 0,16WcAc;$$

$$A = 0,22 + 0,0005Pc + 0,004Wc + 0,08Ac + 0,00008PcWc + 0,0002PcAc + 0,002WcAc;$$

$$DU = 101,1 - 0,009Pc - 0,38Wc - 0,123Ac + 0,051WcAc;$$

$$F = 1,06 - 0,00058Pc - 0,0098Wc - 0,136Ac - 0,0017WcAc;$$

$$Q = 20,5 - 0,0035Pc - 0,15Wc + 0,8Ac - 0,0008PcAc - 0,06WcAc;$$

$$BD = 621,55 - 0,097Pc + 2,34Wc + 7,83Ac - 0,142WcAc.$$

Проверено, что ВИД по характеристикам не уступает другой древесной биомассе и может быть использована для получения твердого биотоплива – топливных гранул.

Доказано, что топливные гранулы из ВИД соответствуют требованиям стандарта ГОСТ Р 55114-2012 для гранул В класса [5].

Выводы и рекомендации

1. Обосновано, что ВИД является альтернативным дополнительным ресурсом сырья при переработке ее в производственных процессах деревообработки.

2. Разработана методика расчета потенциала ВИД. Рассчитан потенциал древесной биомассы, в частности ВИД, который составил в Украине в 2013 г. 2,1 млн т.

3. Разработаны ресурсосберегающие технологии использования ВИД. Экспериментально подтверждена технологическая возможность использования ВИД для производства прессованных материалов: стружечных плит и топливных гранул.

4. Предложено в разработанных технологиях ввести участок по подготовке ВИД, который включает сортировку по загрязнению, по породам, по конструкционным материалам и др.; изъятие цветных и черных металлов, пластмасс и др.; очистку от включений и различных примесей, включая вещества защиты древесины.

5. Предложено пригодную для материального использования ВИД очищать двумя способами: поверхностным – модернизированными станками (щеточным, фрезерным, иглофрезерным, шлифовальным, пескоструйным, лепестковым); внутренним – специальным оборудованием (воздушным сепаратором, вибрационным фидером, воздушным очистителем, магнитным ленточным транспортером, металлодетектором, динамическим решето и др.).

6. На основе полученных математических моделей установлены закономерности влияния использования ВИД на физико-механические показатели полученной продукции. Предложены режимные параметры для внедрения полученных результатов в производство.

7. Определено, что рациональным условиям изготовления плит стандартного качества (ГОСТ 10632-2007) соответствуют: для плит марки П-А (13 МПа) – содержание ВИД в плите во внутреннем и внешних слоях может составлять до 60 % при среднем расходе клея 11,5 %; для плит марки П-Б (11,5 МПа) – содержание ВИД во внутреннем – до 100 %, а во внешних слоях – 80–100 % при расходе клея во внутреннем слое – 7–8 %, во внешних слоях – 10–11 %.

8. Определен рациональный состав гранул с различным содержанием ВИД: для лиственных и хвойных пород (1:1), для ВИД из композитных материалов – не более 50 %. В соответствии с разработанной технологией для изготовления топливных гранул из ВИД с различной древесной биомассой предложены следующие режимные параметры процесса гранулирования: древесные частицы выбранной пробы – 100 %; влажность частиц перед прессованием – 12 %; фракционный состав: < 3,15 мм – > 97 %; < 2,0 мм – > 90 %; < 1,0 мм – > 50 %; < 0,1 мм – < 5 %; насыпная плотность стружек – 200-250 кг / м³; добавки – 0 %; диаметр отверстий – 6 мм; диапазон температуры прессования – 90–100°C; давление прессования (в регуляторе зазора между матрицей и роликами) – 10–150 МПа; расстояние между матрицей и

роликами – 0,3 мм; соотношение длины канала матрицы к ее диаметру – 3,5.

9. Технология переработки ВИД для материального использования является рентабельной и эффективной из-за низкой себестоимости данной древесной биомассы.

Библиографический список/ References

1. Гайда, С.В. Разработка технологии древесностружечных плит из вторично используемой древесины // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса : материалы II междунар. науч.-технич. конф. – Кострома: КГТУ, 2013. – С. 84–87.
Gayda S.V. *Razrabotka tekhnologii drevesnostruzhечnykh плит iz vtorichno ispol'zуemoй drevesiny* [Development of technology of wood particleboards made from post-consumer wood]. Materials II international scientific and technical conference “Actual problems and prospects of development of forestry and industrial complex”. Kostroma, 2013, pp. 84-87.
2. Гайда, С.В. Технологии топливных гранул из вторично используемой древесины // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. тр. / БГИТА. – Брянск, 2013. – Вып. 36. – С. 49–53.
Gayda S.V. *Tekhnologii toplivnykh granul iz vtorichno ispol'zуemoй drevesiny* [Techniques of fuel pellets produced from post-consumer wood]. Collection of scientific works XIV international scientific and technical conference “Actual problems of forest complex”. Bryansk, 2013, № 36, pp. 49-53.
3. ГОСТ Р 54189-2010 (ЕН 15149-2:2010). Биотопливо твердое. Определение гранулометрического состава. Часть 2. Метод с применением вибрационного сита с размером отверстий 3,15 мм и менее. – Введ. 21.12.2012. – М.: Стандартинформ, 2012. – 12 с.
GOST R 54189-2010 (EN 15149-2:2010). *Biotoplivo tverdoe. Opredelenie granulometricheskogo sostava. Chast' 2. Metod s primeneniem vibratsionnogo sita s razmerom otverstiy 3,15 mm i menee* [State Standart 54189-2010 (EN 15149-2:2010). Solid biofuels – Determination of particle size distribution. – Part 2: Vibrating screen method using sieve apertures of 3,15 mm and below]. Moscow: Standartinform Publ., 2012, 12 p.
4. ГОСТ 10632-2007. Плиты древесно-стружечные. Технические условия. – Введ. 01.01.2009. – М.: Стандартинформ, 2007. – 16 с.
GOST 10632-2007. *Plity drevesno-struzhechnye. Tekhnicheskie usloviya* [State Standart 10632-2007. Wood particle boards. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2007, 16 p.
5. ГОСТ Р 55114-2012 (ЕН 14961-2:2011). Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива. Часть 2. Древесные пеллеты для непромышленного использования. – Введ. 1.7.2014. – М.: Стандартинформ, 2014. – 11 с.
GOST R 55114-2012 (EN 14961-2:2011). *Biotoplivo tverdoe. Tekhnicheskie kharakteristiki i klassy topliva. Chast' 2. Drevesnye pellety dlya nepromyshlennogo ispol'zovaniya* [State Standart 55114-2012 (EN 14961-2:2011). Solid biofuels. Fuel specifications and classes. Part 2: Wood pellets for non-industrial use]. Moscow: Standartinform Publ., 2014, 11 p.
6. Gayda S.V. Bases of secondary wood resources classifier formation. Scientific papers of the Forest Academy of Sciences of Ukraine: collection of scientific works. Lviv: UNFU, 2013, pub. 11. pp. 208-215. (in Ukraine).
7. Gayda S.V. Production techniques and properties of fuel pellets produced from post-consumer wood. Scientific Herald. Collection of scientific and technical works. Lviv: UNFU, 2013, pub. 23.14. pp. 83-93. (in Ukraine).
8. Gayda S.V. Technologies and recommendations on the utilization of post-consumer wood in woodworking industry. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. Collection of scientific and technical works. Lviv: UNFU, 2013, pub. 39.1. pp. 48-67. (in Ukraine).
9. Gayda S.V. Resource-saving technologies of recycling of post-consumer wood. A series of «Technology and Energy of agroindustrial complex». Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine : collection of scientific works. Kyiv: NULES of Ukraine, 2013, pub. 185. Part 2. pp. 271-280. (in Ukraine).
10. Gayda S.V. Techniques for recycled of post-consumer wood in the production of quality particleboard. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. Collection of scientific and technical works. Lviv: UNFU, 2014, pub. 40. pp. 41-51.
11. Gayda S.V. The investigation of physical and mechanical properties of wood particleboards made from post-consumer wood. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. Collection of scientific and technical works. Lviv: UNFU, 2011, pub. 37.2. pp. 95-110.
12. Gayda S.V. Production techniques and properties of fuel pellets produced from post-consumer wood. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. Collection of scientific and technical works. Lviv: UNFU, 2012, pub. 38. pp. 112-150.
13. WRAP. A technical report for the manufacture of products from waste wood. Environment Agency, 2007. 29 p.
14. COST Action E 31 (Hrsg.). National summary reports on the European market of recovered wood, 2004. 335 p.
15. Regulation on requirements for recycling and disposal of Waste Wood (Wood Ordina

ECOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF RECYCLING POST-CONSUMER WOOD FOR PRODUCTION COMPACTED MATERIALS

Gayda S.V., Assoc. prof. UNFU ⁽¹⁾

gaida@e-mail.ua

⁽¹⁾Ukrainian National Forestry University, 79057, st. General Chuprynyk, 103, m. Lviv, Ukraine

An estimation of the potential has been made for woody biomass – post-consumer wood (PCW) – which amounted to 2.1 million tonnes in 2013. A system approach to PCW recycling has been used. Technological capability of using PCW in woodworking production processes has been experimentally confirmed and commensurate product specimens have been obtained: particleboards and fuel pellets. The patterns of PCW-content influence on physical and mechanical properties of the obtained products have been developed. Certain practical recommendations concerning PCW utilization in woodworking industry have been proposed.

Keywords: Post-consumer wood, PCW potential, wood particleboards, pellets, physical and mechanical models, recycling, woodworking techniques, practical recommendations.

ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫЕ УКРЕПЛЕННЫЕ ЦЕМЕНТОМ ПЛИТЫ НА ОСНОВЕ РИСОВЫХ СТЕБЛЕЙ И ЗОЛЫ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ

М. ГОФРАНИ, доц., Университет подготовки преподавателей Шахид Раджи⁽¹⁾,
К. НИККАР, доц., Университет подготовки преподавателей Шахид Раджи⁽¹⁾,
Дж. ТОРКМАН, ассистент, Университет Гуилан⁽²⁾

ghofrani@srttu.edu, kaveh.nikkar@yahoo.com, j_torkaman@yahoo.com

⁽¹⁾ Университет подготовки преподавателей Шахид Раджи, Тегеран, Иран

⁽²⁾ Университет Гуилан, Решт, Гуилан, Иран

В статье рассмотрена возможность создания древесных композитов, а именно древесноволокнистых плит с укреплением цементом при трех дозировках вяжущего 10, 25 и 40 % по весу. Зола рисовой шелухи добавлялась как альтернатива цементу в дозировке 0, 10 и 20 % по весу. В общей сложности было проведено 9 испытаний по три доски в каждом, при этом доски соответствовали стандарту (DIN / EN 634 part1, 2) по размеру и физико-механическим свойствам, таким как сопротивление изгибу. Различное соотношение массы волокон с массой цемента влекло за собой различные физико-механические свойства досок, лучшие результаты получены при соотношении цемент-волокна как 25 к 75 %. 20 %-ные добавки золы рисовой шелухи, хотя и приводят к некоторому снижению прочности ДВП, тем не менее, могут быть рекомендованы для использования.

Ключевые слова: древесноволокнистая плита, зола рисовой шелухи, сопротивление изгибу, внутренние связи

1. Introduction

Wood fiber is a unique reinforcing material that offers numerous advantages. Wood fiber-cement composites occupy a special place in this development of fiber reinforced cement, because of non-hazardous, high filling levels possible, low energy consumption, and wide variety of fibers available throughout the world (Yadollahi et al., 2013). On the other side, faced with an increasing worldwide shortage of wood resources, there has been a strong trend to produce fiber-cement products using industrial wastes, non-wood plant materials and agro-waste fibers (Ashori et al., 2012). Many previous researches have obtained valuable results to use the industrial wastes in various forms of concrete production (Turgut et al., 2007). For instance, the use of waste rubber, glass powder and paper waste sludge in concrete mix has received remarkable attention over the past years.

Among the possible alternatives, the development of composites using agro-waste fibers is currently at the center of attention (Ashori et al., 2011; Jarabo et al., 2012; Torkaman et al., 2014). Millions of tons of crop waste materials are produced from agricultural and industrial processes every year. Features of these

agro-waste resources such as high tenacity, low bulk density and high transportation costs make them difficult to use them as filler or pozzolanic materials, with the exception of rice waste (Jarabo et al., 2012). The global annual production of rice paddies is about 700 million tons. Thus, about 140 million tons of rice husk are disposed as waste (Van et al., 2014). This waste is dumped or burned in the outdoor causing soil, water and air pollution issues in rice producing countries like Iran (Torkaman et al., 2014). Rice husk is an agricultural residue obtained from the outer covering of rice grains during milling process. The main chemical composition of rice husk is silicon dioxide (SiO_2), and the highest amount of amorphous silica is achieved when rice husk ash is burned between 500 and 700 °C (Nair et al., 2008). The rice husk ash (RHA) which is produced by burning of rice husk has a high content of amorphous silica (Wansom et al., 2009).

Many research studies have been conducted to investigate the effect of the rice stalk fiber (RSF) and RHA on the properties of cement mortar. There is, however, a remarkable lack of knowledge on the use of RSF and RHA admixtures in the reinforced fiber-cement. With the purpose of contributing to building up this knowledge, the work described in this

Mixture proportions of blended materials
Пропорции смеси из смешанных материалов

Treatment		MHF (wt %)	RHA (wt %)	Cement (wt %)	Treatment		MHF (wt %)	RHA (wt %)	Cement (wt %)
Group	Code				Group	Code			
A	1	10	0	90	B	1	10	0	90
A	2	10	10	80	B	2	10	10	80
A	3	10	20	70	B	3	10	20	70
A	4	25	0	75	B	4	25	0	75
A	5	25	10	65	B	5	25	10	65
A	6	25	20	55	B	6	25	20	55
A	7	40	0	60	B	7	40	0	60
A	8	40	10	50	B	8	40	10	50
A	9	40	20	40	B	9	40	20	40

paper was aimed to study how the variations in RSF (as reinforcement) and RHA (as cement replacement) admixtures can influence on some selected mechanical and physical properties of the blended fiber-cement composites. Moreover, the results were compared with the addition of mixture of hardwood fibers (MHF) as a conventional fibrous material.

2. Materials and methods

2.1. Materials

RSF and MHF used in this investigation were generated from the chemical and mechanical pulping processes, respectively. Both fibrous materials were obtained from the northern part of Iran.

The ground rice husk was burned in suspension at a temperature of 700 °C for 2 h in complete combustion. The well-mixed white RHA was subsequently sieved to remove the large particles and any incompletely combusted materials, and only particles passing through 150 µm-sieve were used.

The binding agent employed was commercial grade of ASTM type I Portland cement, a product of Hegmatan Cement Co. Iran.

Calcium chloride (CaCl₂) was used as cement setting accelerator. It was an analytical grade from Merck Co., Germany. The properties of the tap water used in this study were of pH 6.3, 5.5 mg/L sulfate content and have a hardness of 3.7.

2.2. Mixing and fabrication of samples

In this work, two groups of mix designs, namely A and B, were made. Each group had 9 various treatments containing RSF and MHF with three levels of fibrous material and RHA. Formulation of the mixes and abbreviation used for the respective mixes prepared are given in Table. As it can be seen, 18 different types of mixtures were prepared in the laboratory trials. All specimens were made with 1.00:0.50 weight ratio for cement-to-water. Other parameters such as CaCl₂ content (0.5 wt %), press time (10 min), press pressure (80 kg/cm²), thickness (16 mm), and target density (1.2 g/cm³) were held constant. For each treatment (formulation), three boards were fabricated.

In the mixing process, raw materials using the mixture proportions given in Table were placed in a mixer and blended for 5 min, and then the dilute aqueous solution of CaCl₂ and water were added. In order to obtain more homogeneous mixes, the paste was mixed for another 5 min. Consequently, the blended mortars were immediately fed into the steel moulds (420×270 mm²). The mixture was evenly distributed and flattened by hand. Afterward, the resulting assemblage was cold-pressed to reduce its height while the mat for the next board was mixed. After 24 h, the blocks were declamped, and conditioned for 28 days at 25 ± 1 °C and 65 ± 5 % RH to allow the cement to cure and gain strength.

2.3. Mechanical and physical characterization

The series of tests were carried out according to DIN/EN 634 to determine the mechanical and physical properties of the samples.

2.3.1. Mechanical properties

Conditioned boards were sawn into test samples for modulus of rupture (MOR) modulus of elasticity (MOE) according to DIN/EN 610 and internal bonding (IB) strength using DIN/EN 319. Three-point flexural testing was carried out using an Instron Universal Testing Machine, with a span of 180 mm and crosshead, bearer diameter of 25 mm and loading speed of 5 mm/min.

2.3.2. Physical properties

Physical properties in terms of water absorption (WA) and thickness swelling (TS) were evaluated using DIN/EN 317. The specimens for WA and TS ($50 \times 50 \text{ mm}^2$) were completely submerged horizontally under distilled water maintained at 25 °C for 2 h and 24 h. After soaking, the samples were drained on paper towels for 10 min to remove excess water. The WA and TS were calculated from the increase in weight and thickness of the specimen during submersion, respectively. At least three specimens of every board were tested to obtain a reliable average and standard deviations.

3. Results and discussion

3.1. Mechanical properties

The average values of the mechanical properties in terms of MOR, MOE and IB are presented in Fig. 1. Mechanical properties generally improved with increase in fibrous material and increased with addition of RHA. The bending strength of the fiber-cement specimens enhanced with an increase in the fiber content and the maximum values were obtained at fiber loading of 25 % by weight. However, a further increase in RSF or MHF content showed a reduction in the mechanical properties (Fig 1a). The decrease in strength at higher fiber content may be due to the inefficient utilization of particles attributed to the formation

of ‘clumps’ and increase in the porosity of the composite. It also results in the reduction in fiber-matrix interfacial area and hence lower strength properties than the expected. In addition, samples made with MHF exhibited inferior mechanical properties compared to the RSF. For example, the maximum values of the MOR and MOE for MHF were 8.1 MPa and 3.3 GPa, respectively, while the values for RSF (A_4 sample) were 8.6 MPa and 3.6 GPa, respectively. This is probably due to the chemical and morphological properties of used fibrous materials. In addition, pulping process can influence on the mechanical properties of fibers.

Both MOR and MOE properties of the boards were improved when RHA was increased from 0 % to 10 %. This may be due to the fact that the compatibility of the RHA with cement was improved considerably. The strength properties of the boards were found to be a maximum when fibrous material and RHA was 25 wt % and 10 wt %, respectively.

Based on the results, IB values ranged from 0.33 to 1.95 MPa. The values of IB were well above the requirements set forth by ISO standard (0.45 MPa). Like MOR and MOE, boards made with RSF showed higher IB than those made from MHF (Fig. 1b). The possible reason for this kind of behavior may be the high compatibility of RSF furnish which caused better bonding. The IB strength of the boards was found to be a maximum when fiber content was 25 wt %. At this concentration, probably maximum reinforcing effect can be achieved with optimum volume of cement matrix. Further addition of fibrous material increases volume of particles and reduces volume of matrix causing lower bond strength. Also, as the fiber content in the mix is increased, a greater number of fiber-to-fiber bonds are formed. The increase in fiber-to-fiber bonds reduces the interfacial area of contact between the fiber and the cement matrix, and hence diminishes the potential of a given wood to be able to bond with the matrix. Aggarwal et al. (2008) reported that the failure of the boards is due to failure of fiber-to-fiber bond or fiber-to-matrix bond. At lower percentage of wood, it is predominantly fiber-to-fiber bond failure

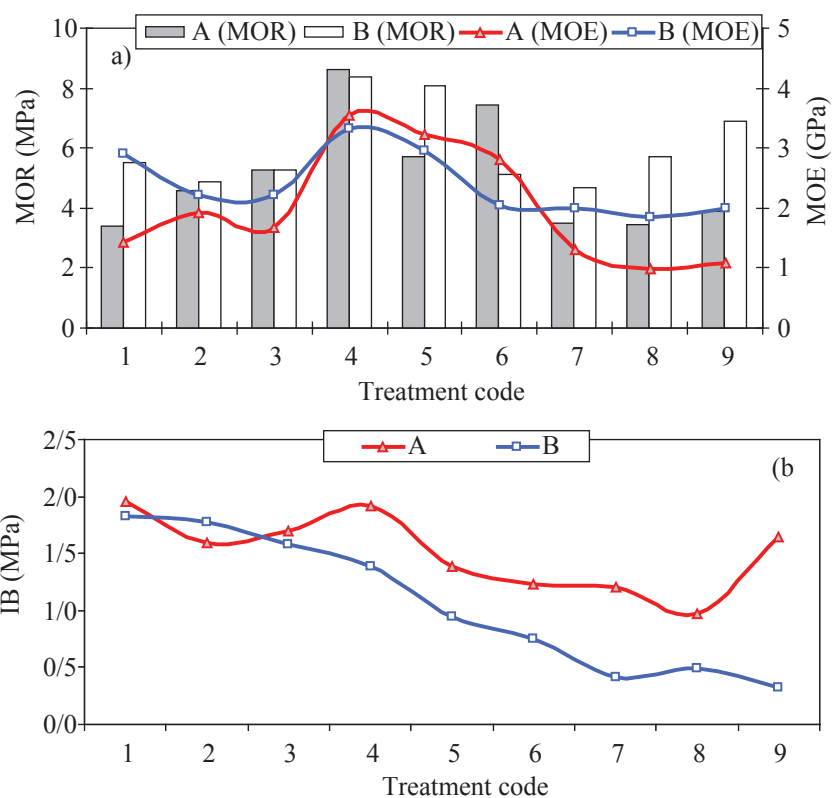


Fig. 1. Effect of fiber types and RHA contents on MOR, MOE (a) and IB (b)
 Рис. 1. Влияние типа волокон и содержание RHA по MOE, MOE (a) и IB (б)

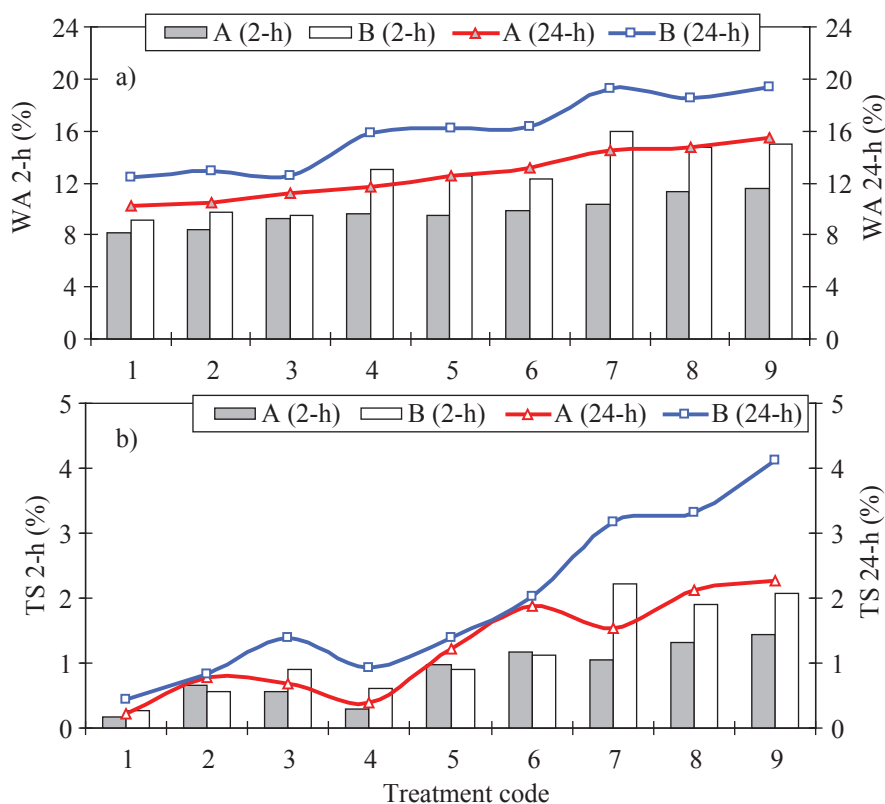


Fig. 2. Effect of fiber types and RHA contents on water absorption (a) and thickness swelling (b)
 Рис. 2. Влияние типа волокон и содержание RHA на водопоглощение (a) и Разбухание по толщине (б)

and at higher percentage it is due to fiber to matrix bond failure, i.e., fibers pull out from the matrix.

3.2. Physical properties

One of the most important properties to be evaluated for fiber-cement composites is water absorption, since it can affect on the mechanical properties and also dimensional stability. The effect on the WA of the samples at different weight percentages of fibrous materials in the composites are shown in Fig 2a. Results indicate that as the amount of fibrous material (RSF and MHF) increases, the water absorption of the samples increases moderately. A_1 and B_1 showed the lowest values of water absorption among the studied boards. As Fig. 2a present, a significant difference in water absorption was observed for the 9 types of samples after 2- and 24-h of immersion. Based on the results, water absorption values varied from 8.2 to 14.9 % for 2-h and from 10.2 to 19.6 % for 24-h. In case of constant fibrous material in all blends, the different water absorptions among all manufactured samples can be attributed to the role of RSF and MHF. In addition, the rate of water uptake significantly correlated with the percentage weight of fibrous material; lower loadings in samples exhibited lower rate of absorption. Weight gain upon exposure to water increased as the percentage of MHF increased for all boards tested. This could be possible due to the hydrogen bonding of the water molecules to the free hydroxyl groups present in the cellulosic cell wall of fibrous materials and the diffusion of water molecules into the fiber-cement interface. From chemical view, this result could be explained by the highly different chemical composition of MHF compared to RSF. Because MHF contains higher hydrophobic content (lignin and extractives) and lower hydrophilic content (cellulose and hemicelluloses), it would be expected to show lower water uptake compared to RSF. The other possible reason could be attributed to low bulk density of fibrous materials which cause more void space in the composite (Tabarsa and Ashori, 2011).

After addition of 20 wt % RHA to A9 composite, an increase ratio of 11.5 % and 7 %

in water absorption after 2- and 24-h of water soaking, respectively, was observed. In addition, it was observed that RHA filled composites generally absorbed slightly more water at 2- and 24-h, respectively.

The TS is an important property that represents the stability performance of the composite. The TS of the samples increases with the WA and thus has similar trend to the WA regarding the impacts of fiber to cement ratio. As expected, the TS increased sharply with increasing fibrous material loadings in the composites – a trend that is true for intervals of 2- and 24-h (Fig 2b). In other words, a further increase in fiber content showed a reduction in the dimensional stability of samples. Moreover, boards made with MHF exhibited inferior dimensional stability compared to the RSF. For example, the maximum values of TS were 2.2 % and 4.1 % for 2- and 24-h, respectively, while the values for RSF were 1.4 % and 2.2 %, respectively. As mentioned earlier this is probably due to several reasons in terms of chemical compositions and fiber morphology.

4. Conclusions

In recent years, an increasing high interest has been drawn to the potential use of agricultural waste as raw material to produce structural reinforcement fibers for building materials, due to environmental and economical aspects. Rice is one the most produced cereal in terms of quantity in world, what entails the generation of large quantities of waste. Despite this fact, only a few research works concerned with the use of RSF and RHA admixture in the production of fiber-cement composites have been published and there is a complete lack of data on the characterization of these composites.

The main objective of this work was to study the feasibility of using fibers obtained from rice stalk as reinforcement and RHA as Pozzolan material in the production of fiber-cement composites. The effects of these fibers on the mechanical and physical properties of the final product were investigated. The strength properties of the boards were found to be a maximum when fibrous material was 25 wt %. The WA and TS values of specimens increased

with an increase in the fibrous content and the maximum values were obtained at treatment of B₉. By addition of RHA, WA and TS of the samples slightly increased, confirming that free water available in the paste matrix remains the primary source of open pores. In general, the results confirmed the high potential of the RSF as a source of fibers for the manufacture of a fiber-cement capable of meeting the requirements of demanding applications.

References

1. Aggarwal L.K., Agrawal S.P., Thapliyal P.C., Karade S.R. 2008. Cement-bonded composite boards with arhar stalks. *Cem. Concr. Compos.* 30 (1), 44-51.
2. Ashori A., Tabarsa T., Sepahvand S. 2012. Cement-bonded composite boards made from poplar strands. *Construction & Building Materials* 26 (1): 131-134.
3. Ashori A., Tabarsa T., Valizadeh I. 2011. Fiber reinforced cement boards made from old newsprint. *Materials Science & Engineering A* 528 (25-26): 7801-7804.
4. Jarabo R., Monte M.C., Blanco A., Negro C., Tijero J., 2012. Characterisation of agricultural residues used as a source of fibres for fibre-cement production. *Ind. Crops Prod.* 36 (1), 14-21.
5. Nair D.G., Fraaij A., Klaassen A.A.K., Kentgens A.P.M., 2008. A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes. *Cem. Concr. Res.* 38, 861-869.
6. Tabarsa T., Ashori A. 2011. Dimensional stability and water uptake of cement-bonded wood composite. *Polymers & the Environment* 19 (2): 518-521.
7. Torkaman J., Ashori A., Sadr Momtazi A. 2014. Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks. *Construction and Building Materials* 50: 432-436.
8. Turgut P. 2007. Cement composites with limestone dust and different grades of wood sawdust. *Building and the Environment* 42:3801-3807.
9. Van V-T-A., Robler C., Bui D.-D., Ludwig H.-M. 2014. Pozzolanic reactivity of mesoporous amorphous rice husk ash in portlandite solution. *Construction and Building Materials* 59, 111-119.
10. Wansom S., Janjaturaphan S., Sinthupinyo S. 2009. Pozzolanic activity of rice husk ash: comparison of various electrical methods. *J Met, Mater Miner* 19(2):1-7.
11. Yadollahi R., Hamzeh Y., Ashori A., Pourmousa S., Jafari M., Rashedi K. 2013. Reuse of waste paper sludge from papermaking process in cement composites. *Polymer Engineering and Science* 53 (1): 183-188.

FIBER REINFORCED CEMENT BOARDS MADE FROM RICE STALK FIBER AND RICE HUSK ASH

Ghofrani M., Assoc. Prof. Department of Wood Industry Faculty of Civil Engineering Shahid Rajaei Teacher Training University ⁽¹⁾; **Nikkar K.**, Engineering Department Shahid Rajaei University ⁽¹⁾; **Torkman J.**, Ass. Prof. Forest Department, Guilan University ⁽²⁾

ghofrani@srttu.edu, kaveh.nikkar@yahoo.com, j_torkaman@yahoo.com

⁽¹⁾ Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

⁽²⁾ University of Guilan, Rasht, Guilan, Iran

This work presents a parametric experimental study which investigates the potential use of rice stalk fiber (RSF) as reinforcement and rice husk ash (RHA) as cement replacement for producing a lightweight fiber-cement composite. Three levels of fibrous materials, namely 10, 25 and 40 wt % were mixed with 0, 10 and 20 wt % of RHA. The effects of above-mentioned variable parameters on the mechanical properties of the samples, i.e., modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE) and internal bond (IB), and the physical properties of those, i.e., water absorption (WA) and thickness swelling (TS), were studied. The results showed that the effect of high level replacement of RSF with RHA does not exhibit a sudden brittle fracture even beyond the failure loads which indicates high energy absorption capacity. Based on the findings in this work, the WA and TS of the composites increased with increasing amount of the RSF content in the samples from 10 wt% to 40 wt %. On the other hand, MOR and MOE of the boards were enhanced with the increased percentage of RSF. Boards having 25 wt % RSF showed the highest internal bond (IB) strength. However, the addition of RSF and RHA reduced the IB strength. Moreover, boards made with RSF had superior properties compared to the mixture of hardwood fibers.

Keywords: Fiber-cement composite; Mechanical properties; Rice stalk fiber; Rice husk ash.

УДК 678

ВАКУУМНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПРЕПРЕГОВ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ПОЛИМЕРА

В.Д. КОТЕНКО, *проф., МГУЛ, д-р техн. наук*⁽¹⁾,
И.В. ГЛЕБОВ, *аспирант МГУЛ*⁽¹⁾

caf-mtkm@mgul.ac.ru, glebov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, г. Мытищи, ул. 1-ая Институтская, 1

В статье описано назначение препрегов с высоким содержанием полимера и указаны требования, которые предъявляются к ним при изготовлении. Описаны существующие технологии изготовления препрегов и указаны их основные достоинства и недостатки. Оценивается возможность применения вакуумной пропитки для изготовления данных материалов. Результаты теоретических расчетов показывают, что применение трехкратной вакуумной пропитки с промежуточными вакуумными сушками позволяет получать препреги с заданным содержанием полимера при сокращении времени технологического процесса. Описаны экспериментальные исследования, подтверждающие положения теоретических выводов, описана экспериментальная установка и методика проведения опытных пропиток пористого наполнителя. Исследуется содержание полимера по площади и толщине образца в полученном препреге на основе кремнеземных и кремнеземно-капроновых полотен при использовании для его пропитки вакуумного метода пропитки с промежуточными вакуумными сушками, представлены численные данные по содержанию смолы и приведен анализ причин неравномерности ее распределения. Показано, что содержание смолы в препреге после трехкратной пропитки удовлетворяет предъявленным требованиям, а также близко к расчетному значению. Распределение смолы по толщине полотна оказывается более равномерным в полотнах толщиной до десяти миллиметров, в полотнах толщиной более десяти миллиметров центральные слои пропитаны хуже, чем внешние. Анализ полученных результатов показывает, что применение данной технологии для изготовления препрегов с высоким содержанием полимера позволяет сократить время технологического процесса с семисот до семидесяти часов и значительно снизить расход пропиточного состава, что приводит к существенной экономии средств. Применение данной технологии также повышает культуру труда на производстве и экологичность технологического процесса.

Ключевые слова: вакуумная пропитка, фенолоформальдегидная смола, кремнеземная ткань.

Препреги являются полуфабрикатами, из которых изготавливаются изделия различного назначения: аэрокосмического, транспортного, электротехнического и др. Нанесение связующего на наполнитель при изготовлении препрегов осуществляют различными способами [1, 2], заключающимся в пропитке наполнителей растворами полимеров с последующим удалением растворителя сушкой. Таким способом получают препреги в виде лент шириной 50...1000 мм и толщиной 0,1...0,5 мм, которые используются для изготовления изделий намоткой или прессованием. Методом пропитки также получают препреги на основе дублированных многослойных вязально-прошивных полотен, состоящих из нескольких слоев (до 24) кремнеземных или кремнеземно-капроновых тканей [3]. В качестве связующего при изготовлении таких препрегов используются бакелитовые лаки [4], представляющие собой растворы фенолоформальдегидных смол (ФФС) в этиловом спирте. Сочетание многослойных полотен с высоким содержанием (~40–50 % масс.) ФФС, которое имеет высокое значение

коксового остатка (~0,5), позволяет получать изделия с высокими механическими свойствами, способные работать в условиях интенсивного теплового нагружения.

Если изготовление препрегов в виде лент можно автоматизировать [2], то изготовление многослойных препрегов, осуществляемое пропиткой методом погружения в ванны, наполненные бакелитовым лаком, автоматизировать невозможно.

К препрегам на основе кремнеземных (ПВП-КТ) и кремнеземно-капроновых тканей (ПВП-КТК) предъявляются следующие требования (табл. 1).

Недостатками изготовления многослойных препрегов пропиткой методом погружения являются:

- большая временная протяженность процесса пропитки (более 700 часов);
- невозможность управления процессом пропитки;
- затрудненный контроль содержания смолы в заготовке в процессе пропитки;
- нестабильность распределения лака по слоям заготовки (так как пропитка внут-

Требования к многослойным препрегам
Requirements to multi-layered prepregs

№ п/п	Препрег из заготовки	Массовая доля летучих продуктов в препреге, %	Массовая доля ФФС в препреге, %
1	ПВП-КТ	3...6	35...50
2	ПВП-КТК	7...13	Не менее 40

Т а б л и ц а 2

Характеристики компонентов препрегов
Prepreg component features

Плотность, г/см ³							содержание капроновых нитей в полотне КТК g_k , масс. доля
стеклянной нити, ρ_c	полотна ПВП-КТ, $\rho_{КТ}$	полотна ПВП-КТК, $\rho_{КТК}$	капроновой нити, ρ_k	лака ЛБС-4, ρ_l	ФФС, ρ_f	этилового спирта, ρ_s	
2,2	0,9	0,7	1,13	1,041	1,3	0,8	0,45

Т а б л и ц а 3

Расчетное содержание лака и смолы в полотнах при однократной пропитке методом вакуумной инфузии
Estimated content of varnish and gum in the paintings at a single impregnation by vacuum infusion

Марка полотна	Пористость	Содержание в полотне лака, масс. %	Расчетное содержание полимера в полотне при массовой доле ФФС в лаке, масс. %		Предельное содержание смолы в полотне, масс. %
ПВП-КТ	0,591	40,6	25,5	29,1	46
ПВП-КТК	0,546	44,8	28,9	32,8	50

ренных слоев заготовки затруднена из-за большой толщины полотен);

– большие технологические отходы бакелитового лака;

– повышенная пожарная и экологическая опасность процесса;

– применение ручного труда (при кантовании заготовок, взятии проб и т.д.).

Длительность процесса изготовления многослойного препрега может быть существенно уменьшена при использовании вакуумной пропитки заготовок связующим (вакуумной инфузии). Кроме того, вакуумная пропитка обеспечивает равномерное распределение связующего в заготовке и снижает вероятность образования пузырьков воздуха, влияющих на характеристики готового изделия.

Ниже приводится оценка возможности применения вакуумной инфузии для изготовления многослойных препрегов.

Пористость Π полотен рассчитывается по уравнениям

– пористость полотна из кремнеземной ткани

$$\Pi_{КТ} = 1 - \frac{\rho_{КТ}}{\rho_c}; \quad (1)$$

– пористость полотна из кремнеземно-капроновой ткани

$$\Pi_{КТК} = 1 - \frac{\rho_{КТК} \cdot (1 - g_k)}{\rho_c} - \frac{\rho_{КТК} \cdot g_k}{\rho_k}, \quad (2)$$

где ρ_c , ρ_k , $\rho_{КТ}$, $\rho_{КТК}$ – плотность капроновой, стеклянной нити, кремнеземного и кремнеземно-капронового полотна соответственно, г/см³;

g_k – массовая доля капроновой нити в полотне КТК.

Если произвести полное замещение пор в полотнах бакелитовым лаком, то по характеристикам компонентов препрегов и бакелитового лака (табл. 2, 3) по уравнениям 1 и 2 можно рассчитать содержание смолы в препрегах [5, 6, 7].

Результаты расчетов, приведенные в табл. 3, показывают, что однократная вакуумная пропитка не обеспечивает требуемого

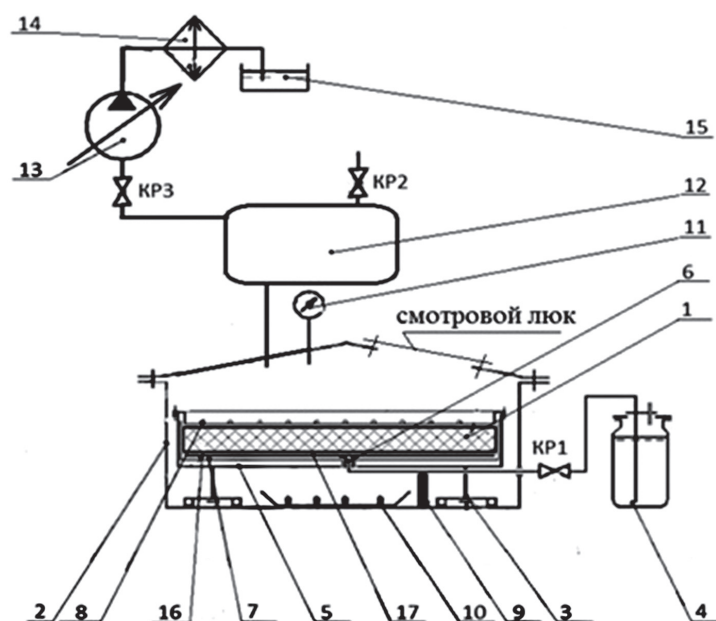


Рис. 1. Герметичная камера с системами пропитки заготовки: 1 – заготовка; 2 – герметичная камера; 3 – датчики усилия; 4 – емкость с лаком; 5 – пропиточная кассета; 6 – штуцер подачи лака; 7 – заневоливающая рамка; 8 – прижимная решетка; 9 – датчик температуры; 10 – нагреватель; 11 – датчик давления; 12 – газобалластная емкость; 13 – безмасляный вакуумный насос; 14 – конденсатор; 15 – емкость для сбора конденсата; 16 – жертвенный материал; 17 – распределительная сетка

Fig. 1. The sealed camera with a blank impregnation systems: 1 – billet; 2 – sealed chamber; 3 – force sensors; 4 – a can with varnish; 5 – impregnating tape; 6 – supply of varnish fitting; 7 – a predeformation frame; 8 – a pressing grille; 9 – a temperature sensor; 10 – a heater; 11 – a pressure sensor; 12 – a gas ballast tank; 13 – an oil-free vacuum pump; 14 – a condenser; 15 – a tank for condensate collection; 16 – release fabric; 17 – a distribution grid

содержания ФФС в многослойных препрегах. Если предположить, что замещение пор производится только чистой ФФС, то предъявляемые требования выполняются. С учетом этого обстоятельства был предложен и запатентован метод ступенчатой пропитки [8]. Сущность его заключается в том, что вначале под действием вакуума в заготовку закачивается такое количество лака, чтобы заполнить все поры. Затем производится вакуумная сушка с контролем удаляемой при сушке массы (объема) растворителя. Пары растворителя конденсируются в теплообменнике, а конденсат собирается в емкости. По объему удаленного растворителя рассчитывается содержание ФФС в заготовке. Циклы повторяются до тех пор, пока в заготовке не будет достигнуто заданное содержание ФФС. Расчеты по математической модели показали, что требуемое содержание полимера в заготовке может быть достигнуто после 3-х циклов «пропитка – сушка» [6, 7].

Для проверки изложенных теоретических положений была изготовлена

лабораторная установка – герметичная камера с системами пропитки заготовки (рис. 1) [9].

В установке можно пропитывать заготовки размером 300×300 мм любой толщины и обрабатывать различные режимы пропитки. Перед пропиткой производится расчет массы лака, которая требуется для пропитки заготовки. Эксперименты проводятся в следующей последовательности.

1. Определяется вязкость лака и массовая доля ФФС m_ϕ в лаке по методикам, изложенным в [4].

2. Определяется взвешиванием масса заготовки M_n (ПВП-КТ или ПВП-КТК), которая подвергается пропитке.

3. Задается массовая доля ФФС в препреге g_ϕ .

4. По заданной величине g_ϕ определяется содержание ФФС в заготовке M_ϕ из уравнения

$$g_\phi = \frac{M_\phi}{M_\phi + M_n}. \quad (3)$$

5. Рассчитывается масса лака $M_{л}$, которая потребуется для пропитки заготовки, по уравнению

$$M_{л} = \frac{M_{ф}}{M_{ф}}, \text{ кг.} \quad (4)$$

6. Рассчитывается масса спирта $M_{э}$ в лаке, которая частично или полностью должна быть удалена при вакуумной сушке

$$M_{э} = M_{л} \cdot (1 - m_{ф} - m_{г}), \quad (5)$$

где $m_{г}$ – массовая доля воды в лаке.

7. Задается количество циклов n (вакуумная пропитка + вакуумная сушка). При проведении экспериментов количество циклов по рекомендациям, содержащимся в [8], принималось $n = 3$. Масса закачиваемого лака в заготовку при каждом цикле пропитки составляет $M_{л}/n$.

8. В пропиточную кассету укладывается жертвенный материал и заготовка и подается лак с использованием контура регулирования расхода лака.

9. Производится вакуумная сушка с использованием контура регулирования расхода летучих продуктов.

После пропитки и вакуумной сушки из заготовки с помощью пробойника отбираются пробы. В пробах вначале определяется содержание летучих продуктов, а затем содержание ФФС.

После проведения серии экспериментов были отработаны режимы пропитки, которые позволяют получать в заготовках следующее содержание ФФС и летучих продуктов:

– в заготовках из ПВП КТ: содержание ФФС 37,2 %, летучих продуктов – 9,7 %;

– в заготовках из ПВП КТК: содержание ФФС 37,9 %, летучих продуктов – 18,48 %.

Были проведены пропитки заготовок размером 1100x1100 мм в экспериментальной установке, оборудованной специальной пропиточной кассетой. Для обеспечения равномерной пропитки подача лака в пропиточную кассету осуществлялась через специальный распределитель. Получены следующие результаты:

– в заготовках из ПВП КТ: содержание ФФС 40,4 %, летучих продуктов – 13,9 %;

– в заготовках из ПВП КТК: содержание ФФС 52,5 %, летучих продуктов – 23,9 %.

Эти показатели достаточно близки к расчетным значениям и предъявляемым требованиям.

Вязально-прошивные полотна из кремнеземных и кремнеземно-капроновых тканей обладают существенной структурной неоднородностью, заложенной в технологии их изготовления, которая заключается в сшивке нескольких слоев ткани для увеличения толщины полотна. Эта структурная неоднородность оказывает существенное влияние на распределение ФФС по толщине полотен при пропитке.

При проведении экспериментов распределение ФФС по толщине пропитанных заготовок из полотен ПВП-КТК (12 сложений) и ПВП-КТ-11 (11 сложений) определялось в пробах, взятых из краевых зон и центра.

В пробах отделялись крайние образцы, которые содержали по одному слою ткани, а затем отделялись образцы по три слоя ткани в каждом (для ПВП-КТК средний образец состоял из 4-х слоев ткани).

Такие образцы подвергались исследованию на предмет определения в них содержания смолы при различной температуре сушки в печи [10]. Результаты исследований представлены на рис. 2, где указаны номера образцов, число слоев ткани в каждом образце и содержание смолы.

Анализ полученных данных показывает, что распределение полимера по толщине полотна ПВП-КТК менее равномерное по сравнению с полотном ПВП-КТ, что объясняется его большей структурной неоднородностью из-за наличия волокон капрона. Повышенное содержание ФФС в верхнем слое полотна объясняется тем, что при пропитке лак, который не смог разместиться в порах, скапливается на поверхности полотна.

Из вышесказанного можно заключить, что предложенная вакуумная технология позволяет сократить продолжительность получения многослойных препрегов с 700 до 70 часов (рис. 3).

Уравнения 3–5 позволяют рассчитать и полностью использовать для пропитки именно то количество лака, которое требуется для обеспечения в заготовке заданного содержания

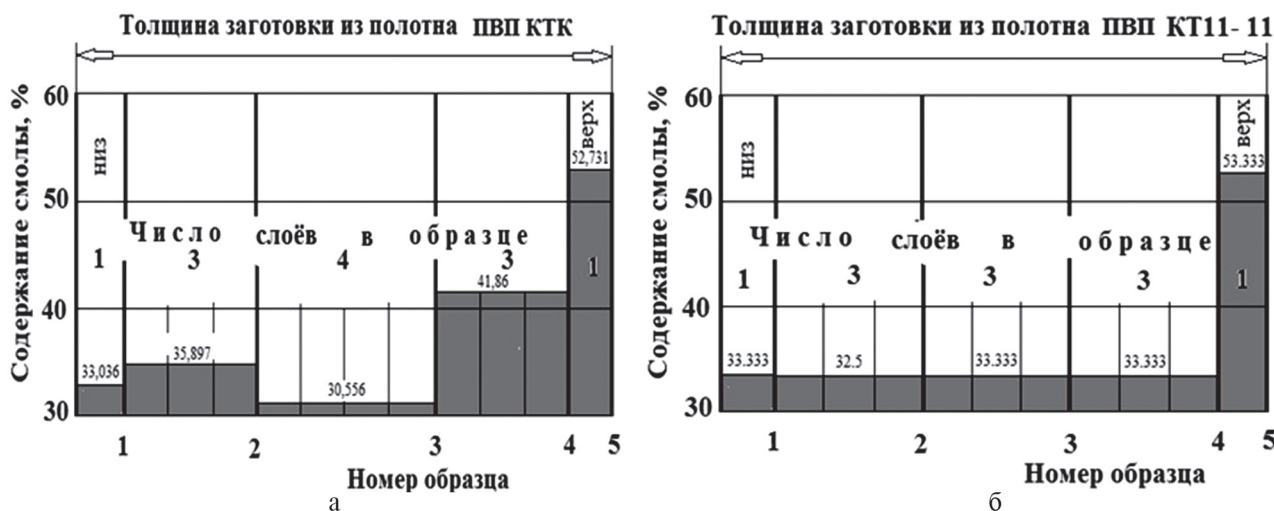


Рис. 2. Распределение ФФС по слоям заготовок из полотен а – ПВП-КТК, б – ПВП-КТ-11
 Fig. 2. The FSS allocation in layers of blank canvas of а – ПВП-КТК, б – ПВП-КТ-11

ФФС. Это позволяет осуществить не только безотходную технологию, но и в несколько раз со-

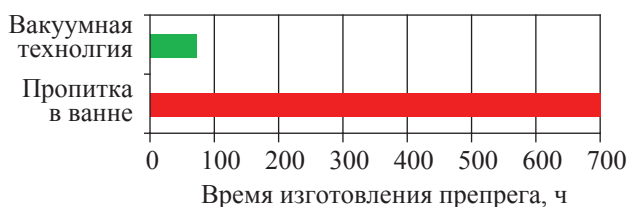


Рис. 3. Время изготовления препрега с содержанием смолы 40 % масс. при применении различных технологий
 Fig. 3. The time of manufacturing prepreg with a resin content of 40 % against weight when using different technologies

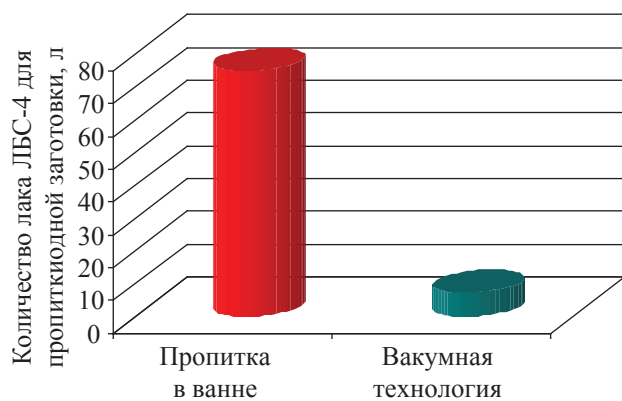


Рис. 4. Сравнительная диаграмма расхода бакелитового лака при пропитке заготовки размерами 1100×1100 мм, 6 слоёв в ванне и по вакуумной технологии
 Fig. 4. The Comparison Chart of bakelite varnish demand during the impregnation of a workpiece, having dimensions 1100×1100 mm, with 6 pieces in the bath treated by vacuum technolog

кратить расход лака и сэкономить десятки тысяч рублей на пропитке каждой заготовки (рис. 4).

Запатентованная технология позволяет получать препреги с достаточно равномерным распределением полимера по толщине заготовок, даже при значительной структурной неоднородности пропитываемых полотен ткани.

Технология позволит также:

- снизить пожарную и экологическую опасность, так как возможно осуществить регенерацию из бакелитового лака этилового спирта;
- сократить применение ручного труда;
- повысить чистоту и культуру производства;
- осуществить автоматизацию процесса, так как может быть осуществлена количественная оценка параметров пропитки и сушки заготовок, из которых изготавливается препрег.

Библиографический список

1. Задорский, В.М. Продвину́тая технология пропитки капиллярно-пористых тел. / В.М. Задорский // Импрегнация капиллярно-пористых тел. Материалы конф. Днепропетровск, 26-28 октября 2005 г. – С. 4–21
2. Полякова, Л.Ю. Управление технологическим процессом изготовления препрега для изделий авиационной техники: дисс. канд. техн. наук: 61:07-5/3618 / Л.Ю. Полякова. – Уфа: Уфимский гос. авиац. тех. ун., 2007 – 170 с.
3. ГОСТ 13863-89 Плотна вязально-прошивные дублированные технического назначения. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1989 – 11 с.
4. ГОСТ 901-78 Лаки бакелитовые. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003 – 15 с.

5. Котенко, В.Д. Новая технология получения препрегов с высоким содержанием полимера / В.Д. Котенко, И.В. Глебов // Итоги дис. иссл. Том 3. Мат. V Всерос. конкурса молодых ученых. – М.: РАН, 2013. – С. 34–41.
6. Котенко, В.Д. Новая технология пропитки стеклокапронопрошивных заготовок полимерным связующим с высоким содержанием растворителя / В.Д. Котенко, В.А. Романенков и др. // Актуальные проблемы Российской космонавтики, Материалы XXXVI академических чтений по космонавтике. – М., МГТУ, 24–27 января 2012 г. – С. 511–512.
7. Котенко, В.Д. Технология получения препрегов с высоким содержанием полимера / В.Д. Котенко, В.В. Абразумов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – №1(93). – С. 77–81.
8. Способ изготовления препрега. Патент России № 2484956. 2013. Бюл. №17.
9. Котенко, В.Д. Универсальный лабораторный стенд для исследования процессов пропитки связующим различных прошивных полотен / В.Д. Котенко, И.В. Глебов // Сб. ст. Межд. Начно-прак. конф. – Уфа: РИЦ БашГУ, 31 мая 2013 г., – С. 115–118.
10. Глебов, И.В. Влияние температуры сушки на содержание фенолоформальдегидной смолы в препрегах на основе вязально-прошивных полотен и бакелитовых лаков / И.В. Глебов // Актуальные проблемы развития науки и образования: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 5 мая 2014 г. В 7 частях. Часть IV. – М.: «АР-Консалт», 2014. – С. 22–23.

VACUUM TECHNOLOGY FOR PRODUCING OF MULTI-LAYER PREPREGS WITH A HIGH CONTENT OF POLYMER

Kotenko V.D., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; Glebov I.V., pg. MSFU⁽¹⁾

caf-mtkm@mgul.ac.ru, glebov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moskow reg., Russia

The article describes the purpose of the prepregs with a high polymer content and specifies the requirements that they must meet during their manufacture. It describes the existing technologies of the prepregs production and their main advantages and disadvantages. The possibility of using vacuum impregnation in the production of these materials has been evaluated. The results of theoretical calculations show that the application of threefold vacuum impregnation with intermediate vacuum drying allows to obtain prepregs with a defined polymer content, thus reducing time of the technological process. The experimental studies confirming the theoretical findings have been described, as well as an experimental device and the methodology of the experimental impregnation of a porous filler. The research investigates the polymer content depending on the size and the thickness of a sample in the produced prepreg based on silica and silica-nylon cloths when used to impregnate it by the vacuum impregnation method with an intermediate vacuum dryers; it presents numerical data on the resin content and the analysis of the causes of its uneven distribution. It is shown that the resin content in the prepreg after triple impregnation meets the preset requirements; besides, it is close to the calculated value. The distribution of resin through the thickness of a sheet is more even in the sheets as thick as ten millimeters while in the sheets thicker than ten millimeters the inner layers are impregnated worse than the outside ones. The analysis of the results shows that the application of this technology in the manufacture of prepregs with high polymer content enables to reduce the time of the technological process from seven hundred hours to seventy hours and to decrease significantly the consumption of impregnating composition which results in considerable savings. The use of this technology improves the production work culture and makes the technological process ecologically-friendly.

Keywords: vacuum impregnation, phenol-formaldehyde resin, silica fabric.

References

1. Zadorsky V.M. Zadorskiy V.M. *Prodvinitaya tekhnologiya propitki kapillyarno-poristykh tel* [Advanced technology of impregnation of capillary-porous bodies]. Materials of conference. Dnepropetrovsk, October 26-28, 2005, 4-21 p.
2. Polyakova L.Y. *Upravlenie tekhnologicheskim protsessom izgotovleniya preprega dlya izdeliy aviatsionnoy tekhniki* [Control of technological process of manufacturing the prepreg for the products of aviation technology]. Diss. kand. tekhn. nauk: 61:07-5/3618. Ufa state technical University of Aviation, 2007. 170 p.
3. GOST 13863-89 *Polotna vyazal'no-proshivnye dublirovannye tekhnicheskogo naznacheniya. Tekhnicheskie usloviya* [Cloth stitch-bonding duplicated for technical purposes. Technical conditions]. Moscow: Publishing house of standards, 1989, 11 p.
4. GOST 901-78 *Laki bakelitovye. Tekhnicheskie usloviya* [Bakelite varnishes. Technical conditions]. Moscow: Institute Publishing standards, 2003, 15 p.
5. Kotenko V.D., Glebov I.V. *Novaya tekhnologiya polucheniya prepregov s vysokim sodержaniem polimera* [New technology for the preparation of prepregs with a high content of the polymer]. The results of the thesis. studies. Vol. 3. Materials of V All-Russian competition for young scientists. Moscow: Russian Academy of Sciences, 2013. p. 34-41.
6. Romanenkov V.A., Kotenko V.D. *Novaya tekhnologiya propitki steklokapronoproshivnykh zagotovok polimernym svyazuyushchim s vysokim sodержaniem rastvoritelya* [The new technology of impregnation of silica-nylon blanks with polymeric binder having a high content of solvent]. Topical problems of Russian Astronautics, Materials of XXXVI academic readings on Astronautics. Moscow, Bauman, 24-27 January 2012. pp. 511-512.
7. Kotenko V.D., Abrasumov V.V., Sapozhnikov I.V., Romanenkov V.A., Kuznetsova L.N., Terekhin A.I. *Tekhnologiya polucheniya prepregov s vysokim sodержaniem polimera* [The technology for producing prepregs with a high content of polymer]. Forest Bulletin №. 1(93) 2013. pp. 77-81.
8. *Sposob izgotovleniya preprega* [Method of manufacture of the prepreg]. Patent of Russia № 2484956. 2013. Bull. No. 17.
9. Kotenko V.D., Glebov I.V. *Universal'nyy laboratornyy stend dlya issledovaniya protsessov propitki svyazuyushchim razlichnykh proshivnykh poloten* [Universal laboratory stand for research of processes of binder impregnation of various piercing canvases. Sat. senior Int. Scientific-practice]. Conf., RIC BashSU, 31 may 2013 The Ufa. pp. 115-118.
10. Glebov I.V. *Vliyaniye temperatury sushki na sodержanie fenoloformal'degidnoy smoly v prepregakh na osnove vyazal'no-proshivnykh poloten i bakelitovykh lakov* [The influence of drying temperature on the content of the phenol-formaldehyde resin in the prepregs based on stitch-bonded fibre cloths and bakelite varnish]. Actual problems of science and education: proceedings of the International scientific-practical conference may 5, 2014. Part IV. Moscow: «AR-consalt, 2014. pp. 22-23.

УДК 676.038

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ИХ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

М.Н. КОЧЕВА, *зав. лабораторией, преподаватель. Сыктывкарский лесной институт (филиал) СПбГЛТУ им. С. М. Кирова* ⁽¹⁾

td.kocheva@mail.ru

⁽¹⁾ Сыктывкарский лесной институт, 167000, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Ленина, д. 39

Использование отходов древесины в строительстве уже давно не является чем-то новым, а вот их применение в качестве материала для монолитного возведения стен можно считать достаточно революционным решением. Потребность в собственном жилье, относительно невысокие доходы населения и требования экологичности к возводимым строениям заставляют искать новые строительные материалы. Древесные опилки являются экологически чистым материалом и абсолютно доступным сырьем. На сегодняшний день разработан и широко реализуется стандартный комплект оборудования и опалубки, с помощью которого элстар может изготавливать практически любой человек. Технология производства элстара позволяет получать прочные стеновые блоки идеальной геометрии, которые соединяют в себе преимущества дерева и бетона. Производство элстара целесообразно организовывать на деревоперерабатывающих предприятиях и целлюлозно-бумажных предприятиях, расположенных в многолесных районах. Применение древесины лиственных пород и новых органических заполнителей – отходов, пней и корней от торфоразработок – позволит вовлечь в баланс сырья дополнительные ресурсы древесины. Разработка легкоподвижных электростабилизированных смесей позволит изготавливать изделия из элстара на высокопроизводительных линиях с серийным оборудованием, применяемым в производстве железобетона, расширить номенклатуру изделий, получать крупноформатные конструкции стен и перекрытий, с внедрением которых сократятся трудозатраты на строительство и его сроки, а также улучшится качество в соответствии с современными требованиями. А сам элстар не только прочен, а и практически не подвержен гниению, устойчив к возгоранию. Легко обрабатывается при помощи обычных инструментов, электрических или пневматических. Особенно радует, что для работы с данным материалом не нужна специальная дорогостоящая техника, впрочем, как и узкопрофильные знания. Если вы решились строить свой дом из элстара, то перед вами встает проблема выбора наиболее качественного (соответствующего разумному соотношению «цена–качество») материала из многообразия представленных на рынке товаров. На сегодняшний день не очень много производителей элстара и далеко не все из них делают качественный материал. Проблемы производства качественного электростабилизированного арболита заключаются в получении наиболее важных показателей по прочности и деформативности. Все изложенное говорит о достаточно высокой эффективности элстара и возможности более широко применять их в строительстве жилых и нежилых зданий. Замечательные эксплуатационные качества элстар демонстрирует практически во всем. В статье выполнен анализ способа использования и переработки отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки, а также производство элстаровых блоков для строительства жилых, промышленных зданий и других сооружений в Республике Коми. Обладая столь высокими показателями качества, элстар прост в применении и весьма доступен по цене. Все это позволяет говорить о том, что электростабилизированный арболит – строительный материал будущего.

Ключевые слова: лесозаготовка, лесопиление, деревообработка, щеп, стружка, опилки, кусковые отходы, композиционные материалы, цемент, магнезиально-вяжущее, гипс, опилкобетон.

Древесина обладает лучшим экологическим балансом по сравнению со всеми строительными материалами. Это означает, что воздействие на окружающую среду при производстве, использовании и утилизации незначительны, так как древесина является восстанавливаемым строительным материалом.

Целью работы является изучение технологии получения «Элстара» из древесных композиционных материалов и рекомендации по выбору типов домов по оптимальной технологии их строительства в условиях Республики Коми.

Комплексное использование древесного сырья отражает не только экономичес-

кие интересы и интересы рынка потребления, но имеет огромное значение в области охраны окружающей среды.

В настоящее время важнейшей задачей является улучшение организации сбора всех видов древесных отходов, их полное использование и производство из них экономически выгодных изделий и продуктов, пользующихся спросом на рынках сбыта.

Древесные вторичные материальные ресурсы могут быть использованы в качестве сырья для производства различных новых древесных композиционных материалов. Новые материалы создаются лишь тогда, когда ранее применяемых уже недостаточно или

когда их свойства не удовлетворяют возросшим научно-техническим требованиям. Нужно создавать и применять такие материалы, которые наилучшим образом подходят для данной цели, имеют наименьшую стоимость и будут востребованы.

Древесные композиционные материалы – это материалы, состоящие из частиц древесины и одного или нескольких взаимно нерастворимых компонентов, обладающих специфическими свойствами, отличными от суммарных свойств составляющих компонентов, взаимно нерастворимых и имеющих между собой заметную границу раздела и адгезионное взаимодействие.

Производство древесных композиционных материалов развивать перспективно, так как:

- для их получения используется разнообразное вторичное сырье от различных производств (лесозаготовка, лесопиление, деревообработка, ЦБП, производство мебели, фанеры, древесной муки и т. д.), которое не будет загрязнять окружающую среду;

- сырьевая база (древесные отходы) практически неиссякаема – лес непрерывно возобновляется;

- повышается показатель комплексного использования древесины в целом;

- снижается не только расход древесины, но и других различных материалов, так как древесные композиционные материалы являются полноценными заменителями многих традиционных материалов: натуральной древесины, бетона, металлов, сталей, пластмасс и др.;

- в процессе изготовления древесным композиционным материалам возможно придавать разнообразные и заранее заданные требуемые свойства: прочность, модуль упругости, теплофизические, механические и другие свойства.

Анализ древесных композиционных материалов и их компонентов показал, что для получения требуемых древесных композиционных изделий необходимо более глубокое изучение физико-механических свойств каждого компонента. Зная физико-механические свойства каждого компонента, входящего в состав композиционной смеси, а так-

же требуемые физико-механические свойства древесного композиционного изделия, можно наиболее правильно рассчитать состав каждого компонента древесного наполнителя, вяжущего, необходимое содержание воды, выбрать химические добавки, рассчитать их содержание, а также осуществить операцию их дозирования. В зависимости от состава компонентов смеси, их физико-механических свойств, а также требуемых физико-механических свойств изделия выбрать технологический процесс, состоящий из оптимальных технологических операций и обеспечивающий минимальные затраты.

Лесопромышленный комплекс, представленный лесозаготовительной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной отраслями, является вторым по значимости в экономике республики после топливно-энергетического комплекса (54 % общего объема промышленного производства в 2013 г. пришлось на продукцию лесопромышленного комплекса). Прирост производства обеспечили, прежде всего, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная отрасли. Лесной комплекс республики в целом находится на стадии роста (за шесть месяцев 2013 г. распределение объемов производства сохранилось на уровне прошлого года).

По данным специалистов Министерства промышленности и энергетики республики, на всех фазах лесозаготовительной деятельности объемные показатели крупных и средних предприятий за первое полугодие 2013 г. оказались намного ниже уровня 2012 г. Предприятия лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности Коми увеличили объем производства за первое полугодие 2013 по сравнению с аналогичным периодом 2012 г. на 4,1 % – до 3 330 000 м³. Для предприятий лесопромышленного комплекса Коми 2013 стал годом стабильной работы и роста основных производственно-экономических показателей. В любой сфере деятельности целесообразно использовать материалы (либо технологии) с оптимальным соотношением «цена–качество».

НПП «Технополис» занимается научно-исследовательскими и опытно-конструк-

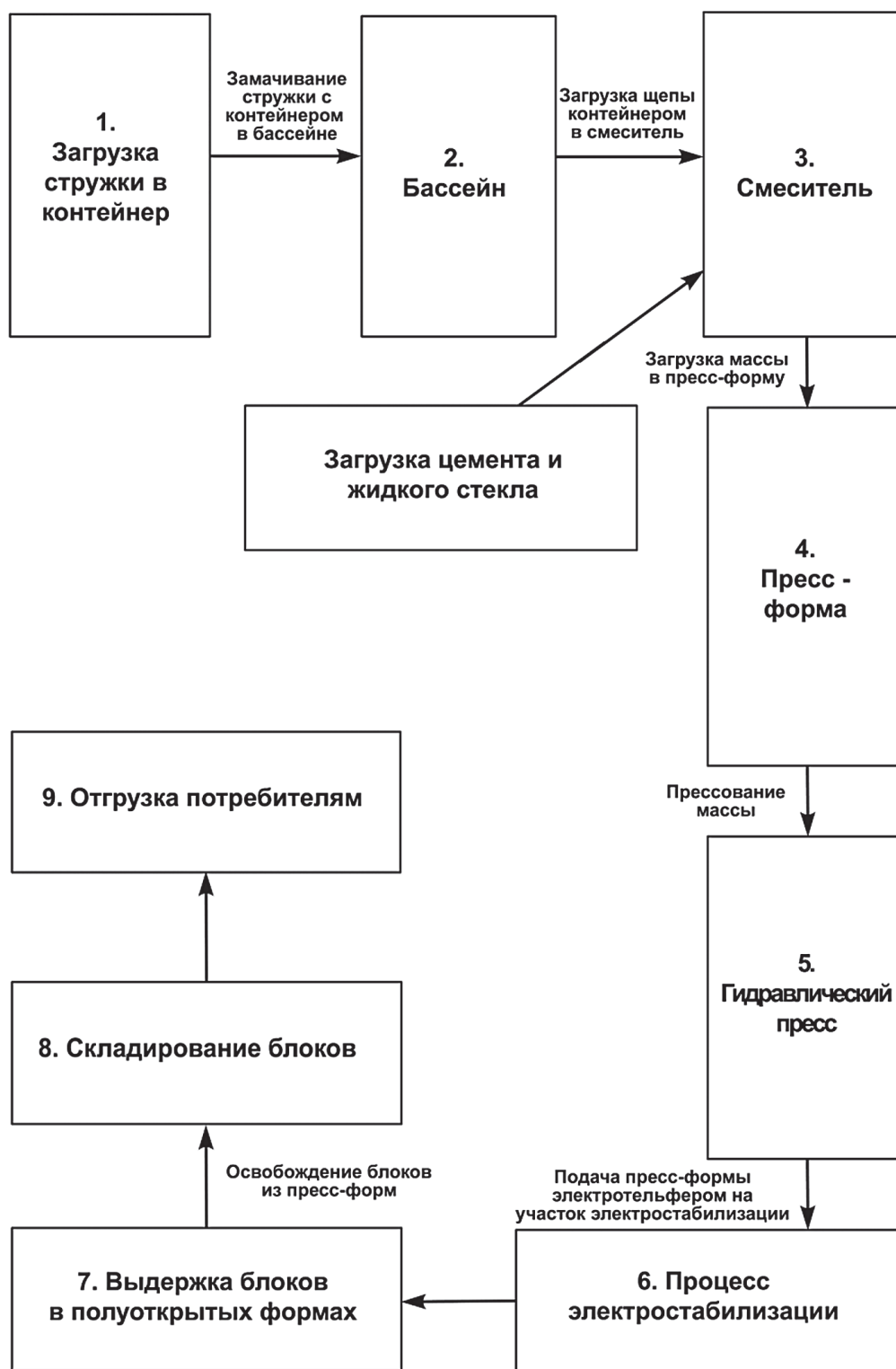


Рис. 1. Технологическая схема производства электростабилизированного арболита
 Fig. 1. Flow diagram of the production of electricity stabilized wood concrete

торскими разработками в области деревообработки; возведением зданий и сооружений жилого, общественного и производственного назначения с применением винтовых свай, клееных деревянных несущих конструкций и

производством стенового материала «Элстар» по собственно разработанной технологии.

Мощность производства данного цеха по изготовлению блоков «Элстар» составляет 5000 м³ в год, что позволяет строить 50 ин-

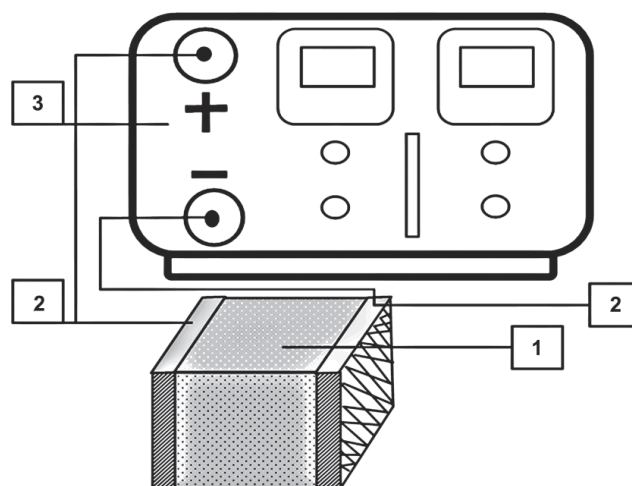


Рис. 2. Процесс электростабилизации блоков: 1–материал, 2– электроды, 3 – источник тока
 Fig. 2. The process of stabilizing the electric units: 1 material, 2 electrodes, the current source 3



Рис. 3. Освобождение блоков из пресс-форм
 Fig. 3. The release of the blocks from the molds

дивидуальных домов в год. В дальнейшем планируется выход на производственную мощность до 15000 м³ блоков в год, для этого имеются производственные помещения и дополнительные ресурсы предприятия.

«Элстар» – это материал в виде блоков, размерами 2000 × 600 × 400 мм, используемый в качестве наружных стен и перегородок. Для получения данного стенового материала используют цемент марки М 400, жидкое стекло (натриевое) и сухую стружку, которая отвечает требованиям его производства. Стружка закупается у ООО «Вайнинг», где она скапливается в виде отходов после

производства обшивочной доски. Доставка стружки в цех производится автощеповозами. Технологическая схема производства электростабилизированного арболита в НПП «Технополис» представлена на рис. 1.

Технологический процесс производства электростабилизированного арболита включает следующие этапы:

1. Загрузка стружки в контейнер ручным способом.
2. Замачивание стружки в контейнере и бассейне. Время замачивания не менее 1 часа. Слив воды из контейнера. Время не менее 15 минут.

3. Загрузка стружки контейнером в смеситель при помощи автокара. Таким же способом загрузка смесителя цементом при помощи автокара.

4. Дозировка жидкого стекла на объем стружки по контейнеру. Процесс формирования массы в смесителе.

5. Загрузка массы в пресс-форму. Размещение грузовых скоб в блоке.

6. Подача пресс-формы кран-балкой на участок электростабилизации.

7. Выдержка блоков в полукрытых формах для лучшего схватывания цемента (2–4 часа).

8. Складирование блоков в помещении цеха и хранение их 3 – 7 дней.

9. Вывозка на строящиеся объекты при помощи наемного автотранспорта.

Процесс электростабилизации занимает от 30 до 60 минут и представлен на рис. 2.

На рис. 3 представлен процесс освождения блоков из пресс-форм.

Особенность материала «Элстар» заключается в том, что он является высокобиостойким материалом, несмотря на то что в нем много легко загнивающей и очень часто зараженной древесины. Это объясняется тем, что при воздействии электрического тока в смеси возникает электрофорез и частицы древесины пропитываются теми растворимыми в воде неорганическими веществами, которые образуются при гидролизе портландцемента.

Для уменьшения себестоимости 1 м³ изделия в него добавляют 15% опилок из-за их дешевизны, но не более 20%, чтобы не нарушить его физико-механические показатели.

Изготовление стеновых блоков из «Элстара» регламентируется ГОСТ 19222-84, согласно которому на изготовление 1 м³ изделия при заполнении щепой требуется 350 кг цемента и 3 кг жидкого стекла. В зависимости от заполнителя (стружка, добавки опилок) и предназначения блоков (теплозвукоизоляционный или конструктивный) рецептура приготовления смеси может изменяться.

Использование отходов в качестве вторичного сырья на всех стадиях переработки следует рассматривать как часть большой и важной научно-технической проблемы лесопильно-деревообрабатывающей отрасли. Если говорить о временных затратах, то строительство зданий с применением элстара является действительно уникальной технологией. Как полагают профессионалы, с применением этой технологии средний по размерам коттедж может быть построен в течение 1–2-х дней.

Несмотря на то, что предприятие создано недавно, оно уверенно держится на ногах. Вся изготовленная продукция была востребована на строительном рынке, что дало хорошую прибыль от ее реализации, которая в 2013 г. предполагает использоваться на модернизацию оборудования (для увеличения объемов производства стеновых блоков).

Предполагается, что прибыль от производства и реализации стеновых блоков в 2014 г. будет больше уровня 2013 г. за счет увеличения объемов производства, роста цен на продукцию и небольшого снижения себестоимости продукции.

Анализируя приведенные исследования, априори можно рекомендовать для внедрения в Республике Коми производства электростабилизированного арболита как стенового материала для строительства домов.

Библиографический список

1. Боровиков, А. М. Справочник по древесине / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев. – М.: Лесная пром-сть, 1989. – 296 с.
2. Волюнский, В.Н. Технология древесных плит и композитных материалов: учебно-справочное пособие / В.Н. Волюнский. – СПб.: Лань, 2010. – 336 с.
3. Вторичные материальные ресурсы лесной и деревообрабатывающей промышленности: справочник / Г.М. Михайлов, и др. – М.: Экономика, 1983. – 217 с.
4. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ростов н/Д: Фе-никс, 2007. – 364 с.
5. Комплексное использование древесины: учебное пособие / Г.П. Захаренко. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 104 с.
6. Коротаев, Э.И. Использование древесных опилок / Э.И. Коротаев, М.И. Клименко. – М.: Лесная пром-сть, 1974. – 144 с.

7. Мельникова, Л.В. Технология композиционных материалов из древесины: учеб. для студ. вузов, обучающихся по спец. 250403 «Технология деревообработки» – Изд. 3-е, испр. и доп. / Л.В. Мельникова. – М.: МГУЛ, 2007. – 235 с.
8. Радчук, Л.И. Основы конструирования изделий из древесины: учебное пособие / Л.И. Радчук. – М.: МГУЛ. – 2006. – 200 с.
9. Стекло натриево жидкое ЖС по ГОСТ 13078-81.
10. Цыгарова, М.В. Комплексное использование древесины: метод. указ. / М.В. Цыгарова. – Ухта: УГТУ, 2007. – 55 с.
11. Эрнст, Л.К. Кормовые продукты из отходов леса / Л.К. Эрнст, З.М. Науменко, С.И. Ладинская. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 168 с.

THE USE OF WOOD WASTE IN THE FOREST INDUSTRY AND SOME OFFERS ON ITS PROCESSING AT KOMI REPUBLIC ENTERPRISES

Kocheva M.N., Syktyvkar Forest Institute (branch) of St. Petersburg State Forest University under name of S. M. Kirov ⁽¹⁾

td.kocheva@mail.ru

⁽¹⁾ Syktyvkar Forest Institute 39 Lenin Str, Syktyvkar Komi republic, Russia, 167982

The use of wood waste in civil engineering is no longer an innovation, but its use as a material for monolithic construction of walls can be considered a revolutionary solution. The need for proper housing, people's relatively low incomes and the environmental requirements to erected buildings forced scientists to look for new building materials. Wood chips are both an ecologically-friendly material and a highly available raw material. At present, a standard set of equipment and formwork has been developed and put into operation which enables practically anyone to produce elstar on his own. The elstar manufacturing technology makes it possible to produce stable building blocks of ideal geometry, which have the advantages of both wood and concrete. It is advisable to organize the elstar production at timber processing plants and pulp and paper mills located in highly forested areas. The use of hardwood and new organic fillers – waste, stumps and roots from peat – allows to involve additional wood resources in the raw balance. The development of easily flowing electrically-stabilized mixtures will enable to make elstar products on high-performance lines with serial equipment used in the concrete production, to expand the range of products, to obtain large-size wall and ceiling constructions with the implementation of which the effort required to build a house and a construction period will be reduced and the quality will improve meeting the modern requirements. Moreover, elstar is durable and almost does not rot at all; besides, it is resistant to fire. It is easily handled with conventional tools, either electrical or pneumatic. It is very pleasant to work with this material because it does not require any special and expensive equipment, as well as any highly professional knowledge. If you decide to build your home from elstar, first of all, you will face the problem of choosing the highest quality (with a reasonable «price – quality» correlation) material within a variety of products on the market. Today, there are not many manufacturers of elstar and only a few of them produce high-quality material. The main problems of producing high-quality electricity-stabilized wood concrete consist in getting the most important indicators of strength and deformability. All of this suggests a fairly high efficiency of elstar and the possibility of enhancing its use in the construction of residential and non-residential buildings. Elstar shows its outstanding performance properties in almost every aspect. This article analyses the way of using and processing logging, sawmill and woodworking waste, as well as the production of elstar construction blocks for residential and industrial buildings and other civil engineering structures in the Republic of Komi. Being of high quality, elstar is easy in application and very price-reasonable. All this suggests that the electricity-stabilized wood concrete is a construction material of the future.

Keywords: logging, sawmill, woodworking, spill, shaving, sawdust, lumpy waste, composite materials, the cement, magnesium oxychloride cement, plaster, wood-cement concrete.

References

1. Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Spravochnik po drevesine* [Guide to wood]. Moscow: Forest prom-st, 1989. 296 p.
2. Volynskiy V.N. *Tekhnologiya drevesnykh plit i kompozitnykh materialov* [The technology of wood-based panels and composite materials]. Spb.: Lan, 2010. 336 p.
3. Mikhaylov G.M. *Vtorichnye material'nye resursy lesnoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [The secondary material resources of the forest and wood industry: guide]. Moscow: Economics, 1983. 217 p.
4. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. *Stroitel'nye materialy iz otkhodov promyshlennosti* [Building materials made of industrial wastes]. Rostov n / D: Fe-Nix, 2007. 364 p.
5. Zakharenko G.P. *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny* [Integrated use of wood]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2006. 104 p.
6. Korotaev E.I., Klimenko M.I. *Ispol'zovanie drevesnykh opilok* [Using sawdust]. Moscow: Forest prom-st, 1974. 144 p.
7. Mel'nikova L.V. *Tekhnologiya kompozitsionnykh materialov iz drevesiny* [The technology of composite materials of wood]. Moscow: MSFU, 2007. 235 p.
8. Radchuk L.I. *Osnovy konstruirovaniya izdeliy iz drevesiny* [Basics of designing products from wood]. Moscow: MSFU. 2006. 200 p.
9. *Steklo natrievoe zhidkoe ZhS* [Glass liquid sodium ZS]. GOST 13078-81.
10. Tsygarova M.V. *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny* [Integrated use of wood]. Ukhta: Ural State Technical University, 2007. 55 p.
11. Ernst L.K., Naumenko Z.M., Ladinskaya S.I. *Kormovye produkty iz otkhodov lesa* [Feed products from the forest]. Moscow: Forest prom-st, 1982. 168 p.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КЛЕЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ИЗ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

А.В. ПИТУХИН, *проф., ПетрГУ, д-р техн. наук*⁽¹⁾,
С.Б. ВАСИЛЬЕВ, *проф., ПетрГУ, д-р техн. наук*⁽¹⁾,
Г.Н. КОЛЕСНИКОВ, *проф., ПетрГУ, д-р техн. наук*⁽¹⁾,
Н.Г. ПАНОВ, *ст. преподаватель., ПетрГУ, канд. техн. наук*⁽¹⁾,
В.Е. ЦВЕТКОВ, *проф., МГУЛ, д-р техн. наук*⁽²⁾,
В.Г. САНАЕВ, *проф., МГУЛ, д-р техн. наук*⁽²⁾

pitukhin@psu.karelia.ru, servas@psu.karelia.ru, kolesnikovgn@yandex.ru, supernikola@yandex.ru, caf-tdpp@mgul.ac.ru, rector@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Петрозаводский государственный университет, 185910, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

⁽²⁾ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса» 141005, г. Мытищи, ул. 1-ая Институтская, 1

В данной статье представлена и обоснована проблематика применения низкосортной древесины осины при производстве древесностружечных плит, показаны методы и результаты экспериментального исследования влияния наноразмерного шунгитового наполнителя, добавляемого в полимерный клей для изготовления однослойных древесностружечных плит. Выявлены полиномиальные закономерности между физико-механическими, экологическими свойствами плит и концентрацией наноразмерного шунгитового наполнителя. Установлено, что 10 % добавка наноразмерного шунгитового наполнителя увеличивает прочность плиты на изгиб на 41 % и выражается зависимостью $y = -0,084x^2 + 2,048x + 23,6$, прочность на разрыв перпендикулярно пласти плиты – на 104 % и может быть описана уравнением $y = -0,0039x^2 + 0,0877x + 0,4843$. Также было установлено, что 10 % добавка наноразмерного шунгитового наполнителя снижает разбухание и водопоглощение плит на 32 и 50 % и выражается $y = -0,0073x^3 + 0,36x^2 - 5,3167x + 42,3$ и $y = 0,0269x^2 - 0,4971x + 8,4629$ соответственно. Эмиссия свободного формальдегида снизилась на 21 % при тех же условиях, а сам процесс проходит линейно $y = -0,236x + 15,34$.

Ключевые слова: наноразмерный шунгитовый наполнитель, полимерный клей, древесностружечная плита.

1. Постановка проблемы

Прочность древесностружечных плит (далее – ДСтП) зависит от количества и типа используемого связующего, гранулометрического состава древесных частиц (далее – стружки), их влажности, породы и качества древесины, примесей и других факторов. В современных условиях наблюдается устойчивая тенденция снижения качества древесины как источника сырья для производства ДСтП. В этой связи актуализируется многоплановая проблема совершенствования технологии изготовления плит с применением измельченной низкокачественной древесины. Направления решения данной проблемы ориентированы на развитие технологий производства ДСтП с применением более совершенных клеевых композиций [1].

Одно из таких направлений впервые было предложено, разработано и апробиро-

вано в совместных работах ученых Петрозаводского государственного университета и Московского государственного университета леса [2,3]. Ключевая особенность данного исследования заключается в установлении возможности повышения прочности ДСтП и уменьшения эмиссии формальдегида за счет использования нанодисперсного порошка шунгита (далее – НПШ) в качестве модификатора клеевой композиции [4,5].

В связи с увеличением производственных мощностей по производству плитных материалов в последние годы обнаруживается тенденция все более широкого использования низкокачественного сырья. В частности все большее применение в производстве ДСтП находит низкосортная древесина лиственных пород. При этом требования к показателям готовой продукции не снижаются.

В республике Карелия в настоящее время находятся большие запасы осины. Ис-

Фракционный состав стружки в массовых долях
Fractional composition of chips in mass fractions

Назначение стружки	Массовая доля остатков, %, на ситах с диаметрами отверстий, мм						
	5,00	3,15	2,00	1,00	0,50	0,20	поддон
для однослойных плит	0,0	0,0	0,3	12,5	44,4	32,6	10,2
для внутреннего слоя трехслойных плит	24,9	17,3	29,8	21,9	4,1	1,2	0,8
для наружного слоя трехслойных плит	0,0	0,0	0,2	12,5	44,4	32,6	10,2

Физико-химические показатели смолы
Physical and chemical indicators of resin

Наименование показателя	КФ-НФП	КФ-МТ-15
Массовая доля сухого остатка, %	68	67
Время отверждения (желатинизации) при 100 С (с 1 % хлористым аммонием), с	68	49
Вязкость условная по ВЗ-246 (сопло 4 мм), с	80	47
Концентрация водородных ионов, рН	8,1	7,8
Показатель преломления	1,471	1,47
Предельная смешиваемость смолы с водой, при которой наблюдается коагуляция по объему	1:4,5	1:3,5

пользуется это сырье редко. Причинами являются низкая прочность древесины и быстрое снижение качества при хранении. В этих условиях наиболее приемлемым способом вовлечения осины в производство является использование в качестве сырья для изготовления ДСтП. Кроме того, в Медвежьегорском районе Республики Карелии находятся большие запасы природного минерала шунгита, который на данный момент используется не вполне эффективно [5].

На основании изложенного было решено провести исследование влияния добавки НПШ в связующее на физико-механические и экологические свойства ДСтП.

2. Материалы и методы

Для изготовления плит в лабораторных условиях применялась стружка из смеси древесины хвойных пород (40 %) и осины (60 %). Влажность стружки составляла $W = 6\%$. Фракционный состав стружки определялся с помощью просеивающей машине с набором сит 5,0 мм; 3,15 мм; 2,0 мм; 1,0 мм; 0,5 мм; 0,2 мм. Фракционный состав стружки представлен в таблице 1 [4,5].

Расчет потребного количества стружки для производства древесностружечных плит велся по методике МГУЛ [10]. По результатам расчета при массе однослойных плит, изготовлявшихся в лабораторных условиях, 1,1 кг масса стружки составляла 0,98 кг. При массе трехслойной плиты 1,1 кг масса стружки при текущей влажности составила для внутреннего и внешнего слоев соответственно 0,52 кг и 0,31 кг.

Для изготовления плит использовались два вида связующего. Связующее № 1 готовили на основе водного раствора карбамидоформальдегидной смолы (далее по тексту КФС) марки КФ-НФП концентрацией 66 % (физико-химические показатели приведены в таблице 2) с добавлением NH_4Cl в виде водного раствора концентрацией 20 %. Связующее № 2 готовили на основе водного раствора КФС марки КФ-МТ-15 концентрацией 67,3 % (физико-химические показатели приведены в таблице 2) с добавлением NH_4Cl в виде водного раствора концентрацией 20 %.

Расчет расхода связующего велся по методике МГУЛ [10] для лабораторных плит массой 1,1 кг. По результатам расчетов для

изготовления связующего № 1 брали смолы в виде раствора 0,19 кг и 1,9 г отвердителя. Для связующего № 2 брали смолы в виде раствора 0,13 кг и 1,3 г отвердителя.

Для модифицирования связующего в него вводили НПШ с размером частиц 50–100 нм, влажностью 0,7 % и удельной поверхностью 120 м²/г [9]. Химический состав наполнителя в массовых долях по данным лаборатории института геологии КарНЦ РАН: С – 28,0...31,0 %; SiO₂ – 56,0...60,0 %; Al₂O₃ – 4,3...5,5 %; Fe₂O₃ – 2,0...6,0 %; K₂O – 1,3...1,5 %; MgO – 0,9...1,4 %; TiO₂ – менее 0,45 %; Na₂O – менее 0,40 %; CaO – около 0,1 %. В ходе исследования в каждое из связующих добавлялось 5, 10, 15, и 20 % от массы раствора КФС [9].

Для оценки активности наноразмерного наполнителя в связующем определили время желатинизации смолы и вязкость при изменении концентрации НПШ по ГОСТ 14231.

Расчетное количество стружки загружали в лабораторный смеситель. При включенной мешалке в полость смесителя тонкой струей подавалось приготовленное связующее. После загрузки всех компонентов перемешивание композиции происходило в течение 12 мин. Объем камеры смешивания 0,72 м³, частота вращения ротора 50 мин⁻¹.

Формирование ковра проводилось вручную в лабораторной форме размерами 400×400×150 мм с последующей холодной подпрессовкой под давлением 10кПа. Полученный ковер помещали в однопролетный гидравлический пресс горячего прессования. Плиты пресса, разогретые до 185°С, смыкали, и поднимали удельное давление до 2,5 МПа. Время выдержки при заданном давлении составляло 0,35 мин/мм. Расчетная величина цикла прессования составила 6 мин [5].

После извлечения готовой плиты из пресса она подвергалась кондиционированию в течение 24 часов, а затем ее раскраивали на образцы. Полученные образцы испытывались на физико-механические и токсичные свойства по стандартным методикам: прочность при статическом изгибе, прочность при растяжении и водостойкость по ГОСТ 10635-88;

содержание свободного формальдегида – по ГОСТ 27678-88.

3. Результаты и их обсуждение

3.1. Исследование технологических свойств связующих

Результаты исследования влияния содержания НПШ на технологические характеристики связующего (табл. 3) показывают, что при увеличении массовой доли НПШ от 0 до 10 % происходит снижение времени желатинизации. Для связующего № 1 снижение этого показателя происходит на 5,5 %, в то время как для клея № 2 – на 6,8 %. В диапазоне от 10 до 20 % изменение времени желатинизации практически прекращается.

Изменения значения вязкости при увеличении массовой доли НПШ происходит для каждого связующего по-своему. Вязкость связующего № 1 сначала снижается на 9,0 % при увеличении доли НПШ от 0 до 10 %. Дальнейшее увеличение содержания добавки до 20 % приводит практически к восстановлению исходного значения вязкости. Для клея № 2 этот процесс носит иной характер. Увеличение доли НПШ от 0 до 5 % снижает значение величины вязкости на 3,7 %, а в дальнейшем вырастает на 18,3 % по сравнению с исходным значением при добавке в связующее 20 % НПШ.

Исследование показало, что при всех значениях добавки клеи сохраняют технологические параметры в пределах допустимых значений. Это позволяет использовать их без изменения технологий операций осмоления стружки, формирования ковра и прессования.

Исследование технологических свойств связующих показало, что снижение времени желатинизации клеев на базе карбаминоформальдегидных смол КФ-МТ-15 и КФ-НФП наблюдается при введении 10 % НПШ. Кроме того, снижение вязкости связующего на базе карбаминоформальдегидной смолы КФ-МТ-15 наблюдается при введении 5 % НПШ, связующего на базе карбаминоформальдегидной смолы КФ-НФП – при добавлении 10 % НПШ. Исследования показали, что добавка НПШ в полимерные клеи

Технологические показатели связующих в зависимости от концентрации НПШ
Technological parameters of binding in a concentration dependent on OUR

Параметр	Связующее	Содержание НПШ, %, от массы смолы				
		0	5	10	15	20
Время желатинизации, с	1	73,0	71,5	69,0	69,5	69,0
	2	44,2	42,9	41,2	42,5	42,0
Вязкость, с	1	43,0	42,5	39,0	41,0	44,0
	2	46,5	44,8	48,0	52,2	55,0

Влияние содержания шунгита в связующем на содержание свободного формальдегида
Influence of shungit content in the binder on the content of free formaldehyde

Содержание НПШ, %, от массы смолы	0	5	10	15	20
Содержание свободного формальдегида	15,6	13,7	12,9	12,3	10,4

оказывает влияние на их технологические свойства в разной степени, в зависимости от марки используемой смолы.

3.2. Исследование однослойных плит

Результаты испытаний однослойных ДСтП, модифицированных НПШ, на физико-механические свойства показывают, что при введении НПШ в однослойные ДСтП наблюдается значительный рост показателей прочности. По сравнению с контролем прочность при статическом изгибе увеличилась на 41 % при концентрации НПШ в 10 масс. %, а зависимость данной прочности от концентрации НПШ выражается полиномом второго порядка $y = -0,084x^2 + 2,048x + 23,6$ [5]. Прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты выросла на 104 % при той же концентрации НПШ, а полином имеет вид $y = -0,0039x^2 + 0,0877x + 0,4843$. Высокие показатели физико-механических свойств возможно интерпретировать способностью НПШ образовывать трехмерную нанокристаллическую армирующую сетку в структуре ДСтП, распространяющуюся по всему объему материала, приводящую к формированию более прочной структуры [9, 11]. При одинаковой концентрации НПШ 10 масс. % имеем максимальные значения пределов прочности на растяжение и изгиб, что соответствует максимальной прочности образующейся наноразмерной сетки.

Зависимости показателей водостойкости плит от концентрации НПШ описываются

полиномами третьего и второго порядка для разбухания и поглощения соответственно, а именно $y = -0,0073x^3 + 0,36x^2 - 5,3167x + 42,3$ и $y = 0,0269x^2 - 0,4971x + 8,4629$. При введении НПШ в связующее ДСтП происходит значительное уменьшение показателей разбухания и водопоглощения плит. Это показывает повышение водостойкости данного продукта [7,8]. Такие показатели можно объяснить высокой прочностью и низкой проницаемостью по воде пленки смола–нанокристаллический углерод, концентрация которой увеличивается на поверхности плиты по сравнению с объемом при прессовании [9,11]. Исследования показали, что максимальным показателям водостойкости соответствуют составы с концентрацией НПШ 10 масс. %.

Исследование влияния концентрации НПШ на содержания свободного формальдегида в ДСтП показало, что при введении шунгита в карбамидоформальдегидную смолу наблюдается существенное снижение содержания свободного формальдегида (табл. 4). Данный эффект растет с увеличением концентрации и, видимо, связан с химическим взаимодействием химических веществ, входящих в состав шунгита с формальдегидом. Процесс может быть описан линейно $y = -0,236x + 15,34$.

3.3. Исследование трехслойных плит

В связи с гетерогенной структурой и неоднородностью плотности низкосор-

Физико-механические показатели и водостойкость плит на связующем №1, приведенные к плотности образцов 680 кг/м³
Physical and mechanical properties and water resistance to the binder plates №1, against the density of the samples of 680 kg / m³

№ п/п	Массовая доля НПШ, %	$\sigma_{изг}$, МПа	σ_{\perp} , МПа	t_w , %	Δ_w , %
1	0	18,6	0,17	51,6	139
2	10	22,0	0,19	52,7	111

Физико-механические показатели и водостойкость плит на связующем № 2, приведенные к плотности образцов 680 кг/м³
Physical and mechanical properties and water resistance of the plates on the binder number 2, against the density of the samples contained 680 kg / m³

№ п/п	Массовая доля НПШ, %.	$\sigma_{изг}$, МПа	σ_{\perp} , МПа	t_w , %	Δ_w , %
1	0	14,4	0,21	27,5	43,3
2	10	18,1	0,29	23,6	38,7

тной древесины осины, а впоследствии и трехслойных ДСтП, полученные результаты сравнительных показателей водостойкости и прочности плит были пересчитаны к одной плотности 680 кг/м³ по известным методикам [4, 5, 6, 7].

Значение физико-механических показателей опытных ДСтП, полученных на основе связующего № 1, представлены в табл. 5. Результаты исследования показывают, что при введении НПШ в клеевой раствор на базе связующего № 1, наблюдается снижение водопоглощения ДСтП на 20 %. Это связано с конденсированием водной дисперсии шунгитового нанокремнезема, сопровождающимся агрегацией наночастиц и образованием, в процессе полимеризации, нанокремнезёмной сетки в связующем ДСтП на поверхности плиты. Кремнезёмные фрагменты высвобождаются в водной дисперсии, формируя кремнезёмный НПШ, и определяют устойчивость наночастиц в воде и их взаимодействие с водой [9, 11]. Также из результатов таблицы видно, что образованная пленка НПШ улучшает физико-механические свойства ДСтП. По сравнению с контролем прочность при статическом изгибе увеличилась на 18 %, а прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты была увеличена на 12 %. Это увеличение свя-

зано с упрочнением химических связей КФ-НФП с пленкой НПШ, благодаря чему поверхность становится более прочной.

Для древесностружечных плит, полученных на основе связующего № 2, были получены результаты, представленные в табл. 6.

Из таблицы видно, что при введении НПШ в связующее № 2 наблюдается снижение водопоглощения ДСтП на 10 %, а разбухание в воде по толщине снижается на 14 %. Кроме того, образованная пленка НПШ улучшает физико-механические свойства ДСтП. По сравнению с контролем прочность при статическом изгибе увеличилась на 20 %, а прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты была увеличена на 22 %.

Выводы

1. Заметное снижение времени желатинизации карбамидоформальдегидной смолы КФ-НФП наблюдается при введении 10 масс. % НПШ.
2. Заметное снижение времени вязкости карбамидоформальдегидной смолы КФ-НФП наблюдается при введении 10 масс. % НПШ.
3. Максимальные значения предела прочности при статическом изгибе и растя-

жении перпендикулярно пласти наблюдаются для образцов плиты, изготовленных из низких сортов древесины, при концентрации НПШ 10 масс. %. При этом показатели возрастают на 41 % и 104 % при изгибе и растяжении соответственно.

4. Введение НПШ приводит к повышению водостойкости ДСтП, изготовленных из низких сортов древесины, при концентрации близкой к 10 масс. % НПШ разбухание по толщине за 24 часа уменьшается на 32 %, а водопоглощение снижается в 1,5 раза.

5. Наблюдается снижение содержания свободного формальдегида в готовой продукции при содержании 10 % НПШ на 21 %.

6. Область оптимума прочностных и технологических свойств ДСтП находится в пределах 10 мас. % НПШ.

7. Испытания показали, что марка смолы влияет на прочностные свойства композиций, модифицированных НПШ.

Библиографический список

1. Варанкина, Г.С. Формирование низкотоксичных клеевых древесных материалов / А.Н. Чубинский, Г.С. Варанкина. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. – 148 с.
2. Панов, Н.Г. Повышение водостойкости трехслойных древесностружечных плит на основе карбамидоформальдегидной смолы при введении наноразмерного шунгитового наполнителя в связующее / Н.Г. Панов, С.С. Рожков, А.В. Питухин // Ученые записки. – ПетрГУ. – 2011. – № 8(121). – С. 85–88.
3. Панов, Н.Г. Древесностружечные плиты на основе карбамидоформальдегидной смолы, модифицированной наноразмерным шунгитом / Н.Г. Панов, А.В. Питухин, С.С. Рожков и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 2(85). – С. 135–139.
4. Питухин, А.В. Влияние добавки нанопорошка шунгита в клеевой раствор для изготовления трехслойных

древесностружечных плит на их физико-механические свойства / А.В. Питухин, Н.Г. Панов, Г.Н. Колесников и др. // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – №4. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/104-6886>.

5. Панов, Н.Г. Применение низкосортной осины для производства древесностружечных плит с использованием нанопорошка шунгита: автореф. дис. ... канд. тех. наук (21.01.12) / Панов Николай Геннадьевич; ПетрГУ. – Петрозаводск, 2012. – 21 с.
6. Питухин, А.В. Модель разрушения древесностружечных плит при растяжении перпендикулярно пласти / А.В. Питухин, С.Б. Васильев, Г.Н. Колесников, и др. // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – № 6(135). – С. 68–72.
7. Панов, Н.Г. Повышение водостойкости и физико-механических свойств древесностружечных плит из низких сортов древесины на основе карбамидоформальдегидной смолы при введении наноразмерного наполнителя в связующее.: тез. докл. 64 конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Науки о земле: задачи молодых» / Н.Г. Панов, С.С. Рожков. – Петрозаводск.: КарНЦ РАН, 2012. – С. 47–48.
8. Панов, Н.Г. Повышение водостойкости и физико-механических свойств древесностружечных плит из низких сортов древесины на основе карбамидоформальдегидной смолы при введении наноразмерного шунгитового наполнителя в связующее: тез. докл. Материалы третьей республиканской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, докторантов / Н.Г. Панов. – Петрозаводск.: ПетрГУ, 2012. – С. 29–30.
9. Рожкова, Н.Н. Влияние модифицирования шунгитового наполнителя с помощью поверхностно-активных веществ и его влияние на физико-механические и проводящие свойства полимерных композиционных материалов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Н.Н. Рожкова. – СПб, 1992. – 20 с.
10. Тришин, С.П. Технология древесных плит: учебное пособие 2-е изд. / С.П. Тришин. – М.: МГУЛ, 2005. – 188 с.
11. Stefan Veigel, Jörn Rathke, Martin Weigl, Wolfgang Gindl-Altmatter. Particle Board and Oriented Strand Board Prepared with Nanocellulose-Reinforced Adhesive // Journal of Nanomaterials. Vol. 2012. Available at: <http://www.hindawi.com/journals/jnm/2012/158503/>

USING A MODIFIED ADHESIVE COMPOSITION FOR WOOD-BASED PANELS MANUFACTURED FROM LOW-GRADE WOOD

Pitukhin A.V., Prof. PetrSU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; **Vasilyev S.B.**, Prof. PetrSU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; **Kolesnikov G.N.**, Prof. PetrSU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; **Panov N.G.**, PetrSU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; **Tsvetkov V.E.**, Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽²⁾; **Sanaev V.G.**, Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽²⁾

pitukhin@psu.karelia.ru, servas@psu.karelia.ru, kolesnikovgn@yandex.ru, supernikola@yandex.ru, caf-tdpp@mgul.ac.ru, rector@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Petrozavodsk State University, 33, Lenin Str., 185910, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia

⁽²⁾ Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moskow reg., Russia

This paper deals with the problems of using low-grade aspen wood in the production of wood-based panels; it shows the methods and the results of an experimental study concerning the effect of schungite nano-sized filler added to the polymer adhesive used in the single-ply chipboard manufacture. The polynomial regularities between physical, mechanical and environmental properties of the above boards and the concentration of schungite nano-sized filler have been identified. It has been found that 10 % of the additive schungite nanosized filler increases the bending strength of wood chipboards by 41 %

which is described by the following equation $y = -0,084x^2 + 2,048x + 23,6$; the tensile strength perpendicular to a board rises by 104 % and this may be described by the following equation $y = -0,0039x^2 + 0,0877x + 0,4843$. It was also found that 10 % of the additive schungite nano-sized filler reduces swelling and water absorption of boards by 32% and 50 % which is expressed in the following equation $y = -0,0073x^3 + 0,36x^2 - 5,3167x + 42,3$ and $y = 0,0269x^2 - 0,4971x + 8,4629$, respectively. The emission of free formaldehyde decreases by 21 % under the same conditions, and the process is linearly $y = -0,236x + 15,34$.

Keywords: nanosized shungite filler, polymer glue, wood chipboard

Reference

1. Varankina G.S., Chubinskiy A.N. *Formirovanie nizkotoksichnykh kleenykh drevesnykh materialov* [Formation of low toxicity laminated wood materials]. SPb.: SPbGLTU, 2014. 148 p.
2. Panov N.G., Rozhkov S.S., Pitukhin A.V. *Povyshenie vodostoykosti trekhsloynnykh drevesno-struzhechnykh plit na osnove karbamidoformal'degidnoy smoly pri vvedenii nanorazmernogo shungitovogo napolnitelya v svyazuyushchee* [Increase the water resistance of wood-chip boards based on urea-formaldehyde resin with the introduction of shungite nano-sized filler in glue]. *Uchenye zapiski PetrGU*. 2011. № 8 (121). pp. 85-88.
3. Panov N.G., Pitukhin A.V., Rozhkov S.S., Tsvetkov V.E., Sanaev V.G., Firyulina O.V. *Drevesno-struzhechnye plity na osnove karbamidoformal'degidnoy smoly, modifitsirovannoy nanorazmernym shungitom* [Chipboard based on urea-formaldehyde resin modified by nano-sized schungite]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*. 2012. № 2(85). pp. 135-139.
4. Pitukhin A.V., Panov N.G., Kolesnikov G.N., Vasil'ev S.B. *Vliyanie dobavki nanoporoshka shungita v kleevoy rastvor dlya izgotovleniya trekhsloynnykh drevesno-struzhechnykh plit na ikh fiziko-mekhanicheskie svoystva* [Effect of additives nano-sized schungite in adhesive solution for manufacturing woodchip board on their physical and mechanical properties]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012. №4. <http://www.science-education.ru/104-6886>.
5. Panov N.G. *Primenenie nizkosortnoy osiny dlya proizvodstva drevesno-struzhechnykh plit s ispol'zovaniem nanoporoshka shungita* [The use of low-grade aspen for the production of wood-based panels using nano-sized schungite]: dis. kand. tekhn. nauk (21.01.12). Petrozavodsk: PetrGU, 2012. 21 p.
6. Pitukhin, A.V., Vasil'ev S.B., Kolesnikov G.N., Panov N.G., Koparev V.S. *Model' razrusheniya drevesnostruzhechnykh plit pri rastyazhenii perpendikulyarno plasti* [Model of fracture chipboard tensile perpendicular plasti]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennyye i tekhnicheskie nauki*. 013. № 6 (135). pp. 68-72.
7. Panov N.G., Rozhkov S.S. *Povyshenie vodostoykosti i fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesno-struzhechnykh plit iz nizkikh sortov drevesiny na osnove karbamidoformal'degidnoy smoly pri vvedenii nanorazmernogo napolnitelya v svyazuyushchee* [Increase water resistance and physical and mechanical properties of wood-based panels of lower grades of wood-based urea-formaldehyde resin with the introduction of nano-sized filler in the binder]. *Tez. dokl. 64 konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Nauki o zemle: zadachi molodykh»*. Petrozavodsk.: KarNTs RAN, 2012. pp. 47-48.
8. Panov N.G. *Povyshenie vodostoykosti i fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesno-struzhechnykh plit iz nizkikh sortov drevesiny na osnove karbamidoformal'degidnoy smoly pri vvedenii nanorazmernogo shungitovogo napolnitelya v svyazuyushchee* [Increase water resistance and physical-mechanical properties of wood-based panels of lower grades of wood-based urea-formaldehyde resin with the introduction of shungite nano-sized filler in the binder]. *Tez. dokl. Materialy tret'ey respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov, doktorantov*. Petrozavodsk.: PetrGU, 2012. pp. 29-30.
9. Rozhkova N.N. *Vliyanie modifitsirovaniya shungitovogo napolnitelya s pomoshch'yu poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i ego vliyanie na fiziko-mekhanicheskie i provodyashchie svoystva polimernykh kompozitsionnykh materialov* [Effect of modifying schungite filler using surfactants and its influence on physical, mechanical and conductive properties of polymeric composite materials]. *Diss. kand. tekhn. nauk*. S.-Peterburg, 1992, 20 p.
10. Trishin S.P. *Tekhnologiya drevesnykh plit* [Technology of wood boards]. Moscow: MGUL, 2005. 188 p.
11. Stefan Veigel, Jörn Rathke, Martin Weigl, Wolfgang Gindl-Altmutter. Particle Board and Oriented Strand Board Prepared with Nanocellulose-Reinforced Adhesive. *Journal of Nanomaterials*. Vol. 2012. Available at: <http://www.hindawi.com/journals/jnm/2012/158503/>

К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ГНУТОКЛЕЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕБЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ

И.З. ПЫЛЫПИВ, *асп. НЛТУ*⁽¹⁾

ip.ua@ukr.net

⁽¹⁾ «Национальный лесотехнический университет Украины»,
79057 г. Львов ул. Генерала Чупринки, 103

Одним из направлений решения проблемы по замене цельной древесины и шпона при изготовлении криволинейных мебельных заготовок является использование древесноволокнистых плит (ДВП). Изготавливают такие элементы способом гнутья с одновременным склеиванием. В этом направлении представлен ряд авторских мебельных изделий, где материалом изготовления для криволинейных поверхностей выступает ДВП. Для решения проблемы минимизации отходов, в результате формирования криволинейных форм, предлагается теоретический подход, который заключается в анализе результатов исследований на основе статистической обработки данных. Экспериментально исследуется изгиб ДВП под действием горизонтальной сосредоточенной нагрузки. В процессе исследования установлено, что клей, который применяется для формирования гнутых элементов, действует как пластификатор. Временной промежуток с нанесенным клеем до начала гнутья плиты избран в интервалах от 2 до 10 мин, за время которого ДВП пластифицируется разной мерой. Доказано, что время, за которое плита становится наиболее пластичной, составляет 6–7 мин при применении ПВА клеев. Среди факторов, влияющих на бездефектный изгиб при изготовлении криволинейных элементов, есть также толщина плиты, от увеличения которой с 2,5 до 6 мм минимальные радиусы гнутья увеличиваются с 70 до 230 мм. При сравнении графических интерпретаций двух толщин ДВП 2,5 и 6 мм у толщины 6,0 мм наблюдается существенное различие в диапазоне между верхней и нижней границей значения минимального радиуса. Это свидетельствует о том, что при двустороннем увлажнении клеем с увеличением толщины плиты более ощутима ее пластификация, в отличие от одностороннего увлажнения. Полученные результаты дают основание утверждать, что путем пластификации плит можно добиться улучшения процесса их гнутья. В частности, выбором клея, продолжительностью пластификации, использованием плиты меньшей толщины.

Ключевые слова: ДВП, пластификация, гнутье, криволинейные элементы.

Поиск материалов, подходящих для получения криволинейных элементов мебели, понимание основных требований к самим изделиям и выборе технологий [1,2], обуславливает новые эксперименты в этой области. Особенно когда криволинейные элементы и изделия на их основе изготавливаются мелкими партиями или единичными экземплярами, является целесообразным использование древесноволокнистых плит (ДВП), что экономически обоснованно [3] и не требует дополнительного высокотехнологичного оборудования. Автором разработан ряд мебельных изделий (рис. 1), где материалом изготовления для криволинейных поверхностей выступает ДВП.

На данное время имеем ограниченное количество исследований относительно процесса изготовления гнутых мебельных элементов, сырьевым материалом которыми есть ДВ плиты [4–6], в частности определение значений минимальных радиусов гнутья. В основном эти исследования касаются деревянных брусьев или шпона [7,8]. Во избежание брака и минимизации количества отходов

при формировании криволинейных заготовок, вследствие достижения заданных форм на основе ДВП, в предложенной статье даем соответствующий теоретический подход относительно выбора интервального промежутка, который отвечает возможным значениям радиусов изгиба плиты при соответствующих толщинах и времени пластификации.

Экспериментально исследуется изгиб ДВП, которая шарнирно опертая и находится под действием горизонтальной сосредоточенной нагрузки силы F (рис. 2).

Перед гнутьем пласти плиты смачиваются клеем. Временной промежуток с нанесенным клеем до начала гнутья плиты избран в интервалах от 2 до 10 мин, во время которого ДВП пластифицируется разной мерой.

Исследования проводятся для толщин плит 2,5; 3,2; 4; 5 и 6 мм при одностороннем и двустороннем клеевом смачивании пласти плиты. В табл. 1 приведены статистические значения проведенных исследований минимальных радиусов изгиба плиты толщиной $d = 2,5$ мм и времени выдержки t с нанесенным клеем.



Рис. 1. Мебель с использованием криволинейных элементов из ДВП (автор проектов Пылыпив И.З)
 Fig. 1. Furniture with curved elements of fiberboard (the author of the projects is Pylypiv IZ)

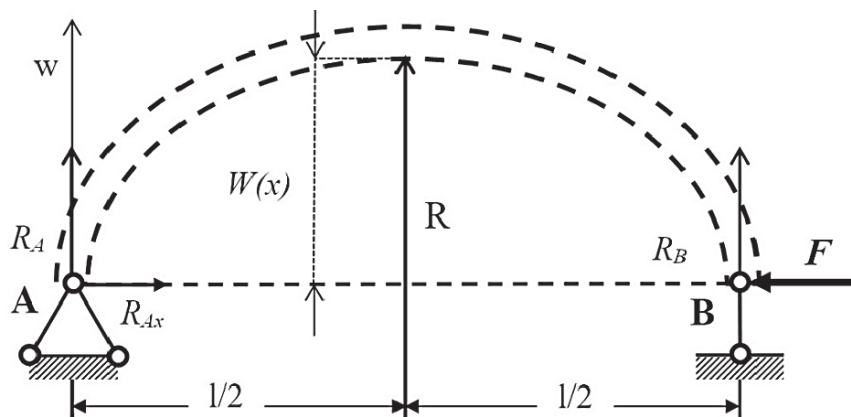


Рис. 2. Схема исследования гнутья ДВП
 Fig. 2. Scheme of investigating the process of bending a fiberboard

Для определения значений минимальных радиусов, которые обеспечивают неразрушительное состояние плиты, при изгибе была использована следующая формула определения доверительного интервала [9] с надежностью γ , близкой к 1, то есть $\gamma = 0,95, 0,99, 0,999$

$$R_n = R_c - t_\gamma \cdot s / \sqrt{n} < R < R_c + t_\gamma \cdot s / \sqrt{n} = R_g, \quad (1)$$

где R_n – нижняя граница минимального значения радиуса изгиба;
 R_g – верхняя граница минимального значения радиуса изгиба;

Статистические значения исследований при толщине плиты 2,5 мм
Statistical research values for boards as thick as 2,5 mm

Одностороннее смачивание клеем					
Время t (мин.)	R min	R max	R ср.зн.	дисп.	ср.кв.откл.
2	66	80	72,7	20,94	4,576
4	60	74	67,1	19,68	4,436
6	54	70	62,1	22,63	4,758
8	57	73	64,4	23,97	4,896
10	60	75	66,9	19,76	4,445
Двустороннее смачивание клеем					
2	60	74	67,1	19,68	4,436
4	54	70	60,8	25,61	5,061
6	46	64	53,2	34,62	5,883
8	50	67	57,4	26,94	5,190
10	55	70	61,5	18,53	4,305

Значение радиуса гнута ДВП при одностороннем смачивании клеем
The significance of fiberboard radius bending at unilateral glue wetting

Время t , мин	$\gamma=0,95$			$\gamma=0,99$			$\gamma=0,999$		
	$t_\gamma=1,96$			$t_\gamma=2,58$			$t_\gamma=3,25$		
	R_H	R_B	R	R_H	R_B	R	R_H	R_B	R
2	71,13	81,64	76,39	71,3	82,16	76,73	71,65	82,72	77,19
4	65,51	75,59	70,55	65,6	76,09	70,85	65,8	76,63	71,22
6	60,46	71,7	66,08	60,6	72,24	66,42	60,65	72,82	66,74
8	62,65	74,75	68,7	62,7	75,31	69,01	62,95	75,91	69,43
10	65,38	76,59	70,99	65,5	77,09	71,3	65,9	77,64	71,77

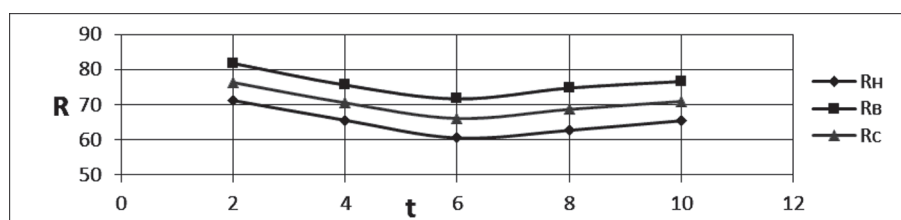


Рис. 3. График зависимости нижней и верхней границы, а также среднего значений минимального радиуса гнута R от времени увлажнения t при одностороннем нанесении клея ($\gamma = 0,95$.)

Fig. 3. The graph of the lower and upper boundaries, as well as the average values of the minimum bending radius R , dependent on wetting time t for one-sided glue application ($\gamma = 0,95$)

R_c – среднее значение минимального радиуса изгиба;

$t\gamma$ – коэффициент;

s – среднее квадратичное отклонение радиуса изгиба;

n – количество экспериментальных исследований.

Поскольку закон распределения значений радиуса изгиба R неизвестен и количество экспериментальных исследований небольшое ($n = 30$), то значение коэффициент $t\gamma$ выбрано

равным значению аргумента функции Лапласа $\Phi(t)$ $t = t\gamma$ [9] согласно уравнению

$$2 \cdot \Phi(t) = \gamma, \text{ или } \Phi(t) = \frac{\gamma}{2}. \quad (2)$$

Исходя из значений надежности, имеем следующие значения функции Лапласа

$\Phi(t)$: при $\gamma = 0,95 \rightarrow \Phi(t) = 0,475$,

при $\gamma = 0,99 \rightarrow \Phi(t) = 0,495$

и при $\gamma = 0,999 \rightarrow \Phi(t) = 0,4995$.

Таким образом, значение коэффициента $t\gamma$ при соответствующей надежности γ

Статистические значения проведенных исследований при $d = 6$ мм
The statistical values of the research for $d = 6$ mm

t (мин.)	$R_{min.}$	$R_{max.}$	$R_{cp.}$	дисп.	ср.кв.откл.
Одностороннее нанесение клея					
2	240	255	247,36	13,964	3,737
4	237	250	244,06	12,340	3,513
6	232	249	240,36	20,792	4,560
8	236	248	242,16	10,282	3,206
10	238	251	244,80	11,821	3,438
Двустороннее нанесение клея					
2	230	245	237,86	13,844	3,721
4	226	242	234,10	15,679	3,960
6	221	238	230,16	21,454	4,632
8	226	240	232,90	14,645	3,827
10	229	242	235,20	12,717	3,566

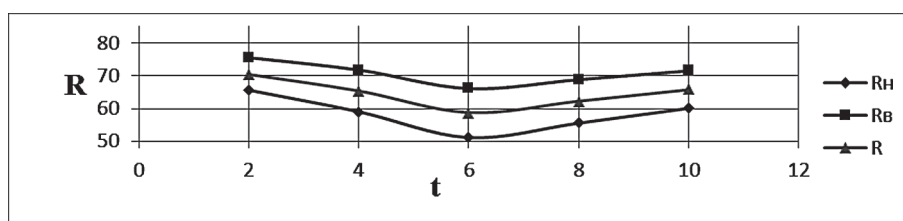


Рис. 4. График зависимости нижней и верхней границы, а также среднего значений минимального радиуса гнутья R от времени увлажнения t при двустороннем нанесении клея ($\gamma = 0,95$)

Fig. 4. The graph of the lower and upper limits, as well as the average values of the minimum bending radius R , dependent on the time t for wetting bilateral glue application ($\gamma = 0,95$)

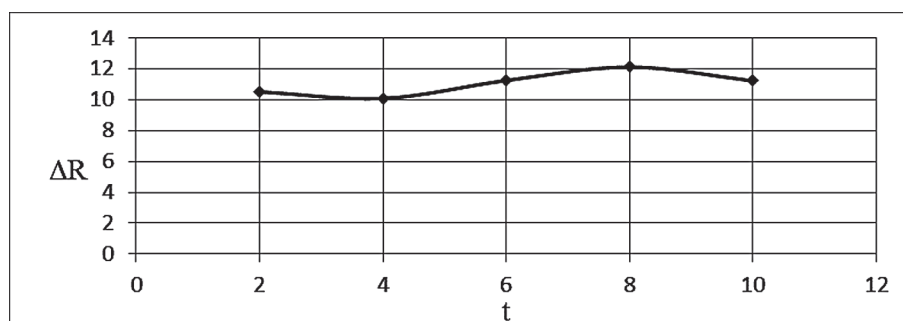


Рис. 5. График зависимости отклонений верхней и нижней границы минимального радиуса гнутья R от времени увлажнения t при односторонней пластификации ($\gamma = 0,95$)

Fig. 5. The graph of variance of the minimum radius of the upper and lower bending limits R depending on the wetting time t for one-sided plasticizing ($\gamma = 0,95$)

будет отвечать при $\gamma 0,95 = t\gamma 1,96$; $\gamma 0,99 = t\gamma 2,38$; $\gamma 0,999 = t\gamma 3,25$.

В табл. 2, согласно численной реализации соответствующих значений границ радиуса изгиба плиты, за формулой (1), приведены соответствующие значения радиуса изгиба при одностороннем клеевом смачивании плиты толщиной $d = 2,5$ мм и изменении времени от 2 до 10 мин с промежутком 2 мин.

Нужно отметить, что при других значениях надежности, то есть при $\gamma = 0,99$, $0,999$, качественная картина графической интерпретации не изменяется.

Если построить графическое изображение отклонений между верхней и нижней границами значений радиуса изгиба, то есть $\Delta R = R_b - R_n$, то можем констатировать, что эта зависимость с некоторым отклонением близ-

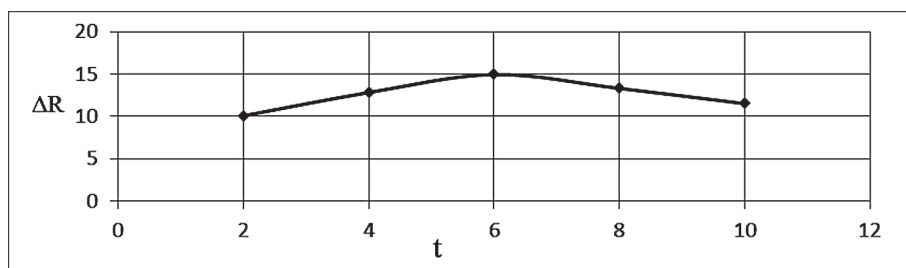


Рис.6. График зависимости отклонений верхней и нижней границы минимального радиуса гнутья R от времени увлажнения t при двусторонней пластификации ($\gamma = 0,95$)

Fig.6. The graph of variance of the minimum radius of the upper and lower bending limits R depending on the wetting time t at a bilateral plasticizing ($\gamma = 0,95$)

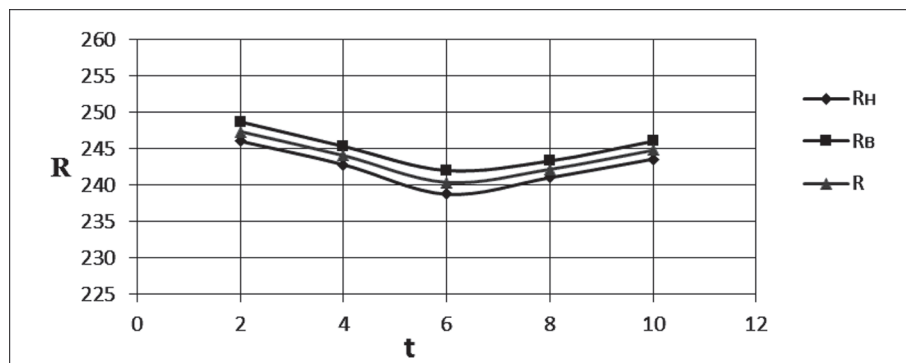


Рис. 7. График зависимости нижней и верхней границы, а также среднего значений минимального радиуса изгиба R от времени t при одностороннем нанесении клея ($\gamma = 0,95$)

Fig. 7. The graph of the lower and upper limits, as well as the average minimum bending radius R depending on the time t with one-sided glue application ($\gamma = 0,95$)

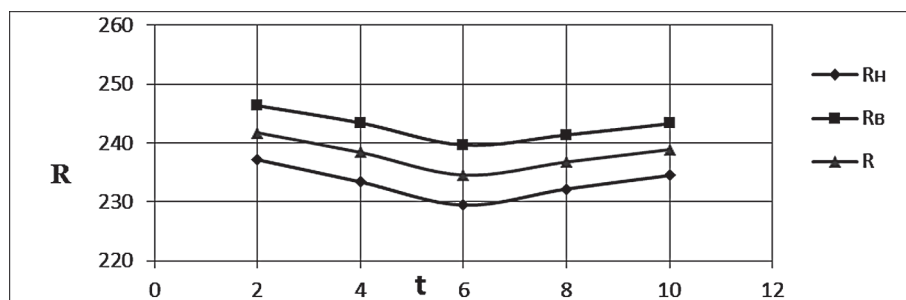


Рис. 8. График зависимости нижней и верхней границы, а также среднего значений минимального радиуса изгиба R от времени t при двустороннем нанесении клея ($\gamma = 0,95$)

Fig. 8. The graph of the lower and upper limits, as well as the average values of the minimum bending radius R , depending on the time t with bilateral glue application ($\gamma = 0,95$)

ка нормальному закону распределения [10] при односторонней пластификации (рис. 4), а при двусторонней еще больше напоминает кривую распределения (рис. 5).

В табл. 3 приведены статистические значения проведенных экспериментальных исследований минимальных радиусов изгиба плиты толщиной $d = 6$ мм, в частности минимальное, максимальное, среднее значение, дисперсия и среднее квадратичное отклонение значений радиуса R при соответствующем

время t , для одностороннего и двустороннего нанесения клея.

На рис. 7 приведен график зависимости нижней и верхней границы, а также среднего значений минимального радиуса изгиба R от времени увлажнения t при односторонней пластификации плиты клеем, а на рис. 8 – при двусторонней ($\gamma = 0,95$).

Для анализа изменения значений минимального радиуса изгиба других толщин плит приведен цикл исследований при

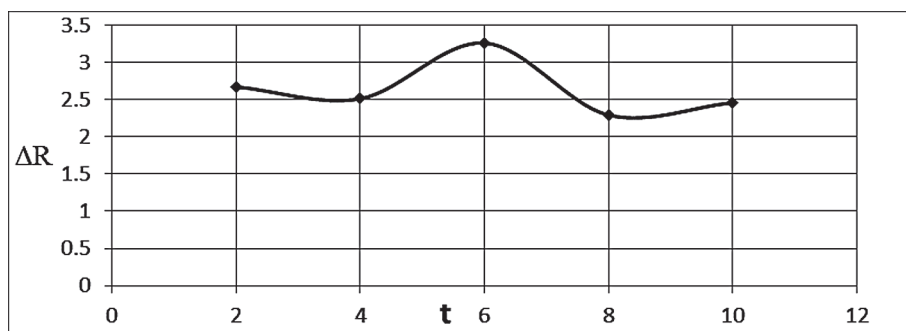


Рис. 9. График зависимости отклонений верхней и нижней границы минимального радиуса изгиба R от времени t односторонней пластификации ($\gamma = 0,95$)

Fig. 9. The graph of the deviations of the upper and lower limits of the minimum bending radius R depending on the time t of one-sided plasticization ($\gamma = 0,95$)

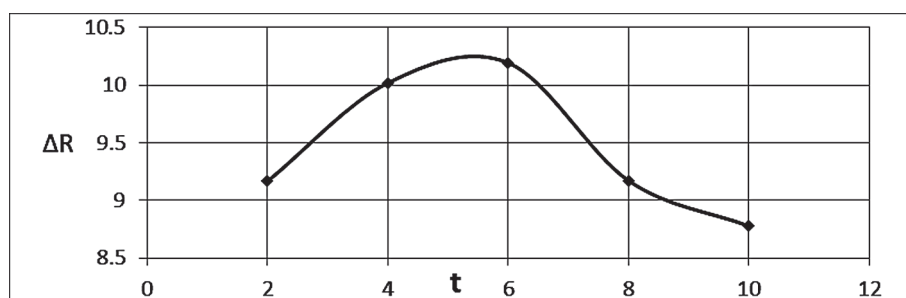


Рис. 10. График зависимости отклонений верхней и нижней границы минимального радиуса изгиба R от времени t двусторонней пластификации ($\gamma = 0,95$)

Fig. 10. The graph of the deviations of the upper and lower limits of the minimum bending radius R depending on the time t of bilateral plasticization ($\gamma = 0,95$)

толщине $d = 6$ мм и принятой надежности $\gamma = 0,95$ минимального радиуса изгиба R от времени увлажнения t при одностороннем увлажнении ($\gamma = 0,95$)

Если сравнить графические интерпретации двух толщин $d = 2,5$ мм и $d = 6$ мм, при толщине 2,5 мм графики почти тождественные, а при толщине 6,0 мм наблюдается существенное различие в диапазоне между верхней и нижней границей значения минимального радиуса. Это свидетельствует о том, что при двустороннем увлажнении клеем с увеличением толщины плиты более ощутима ее пластификация, в отличие от одностороннего увлажнения.

На рис. 9 и 10 приведенные графики зависимости отклонений верхней и нижней границы минимального радиуса изгиба R односторонней и двусторонней пластификации при продолжительности времени t .

Сравнивая значения отклонений между верхней и нижней границами минимальных радиусов гнутья ΔR , делаем следующие выводы.

– При двустороннем увлажнении плит различие ΔR значительно больше, особенно это ощутимо для плит толщиной 6 мм.

– Для плит разных толщин различие ΔR достигает максимальных значений при продолжительности пластификации $t = 6-7$ мин. За этот период увлажняется максимально возможный шар плиты. После этого происходит постепенное затверждение клея и прекращается процесс пластификации.

– Гнутье плит целесообразно проводить по истечении 6 мин после нанесения клея.

Полученные результаты дают основание утверждать, что путем пластификации плит можно добиться улучшения процесса их гнутья, в частности, выбором клея, продолжительностью пластификации, использованием плиты меньшей толщины.

Библиографический список

1. Справочник мебельщика. Конструкции и функциональные размеры. Материалы. Технология производства. – М.: Лесная пром-сть, 1985. – 360 с.

2. Янов, В.В. Художественное конструирование мебели / В.В. Янов, А.А. Белов. – М.: Издательство АН СССР, 1971. – 224 с.
3. Шумега, С.С. Спеціальна технологія меблевого виробництва. / С.С. Шумега. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1981. – 242 с.
4. Волынский, В.Н. Технология клееных материалов: Учебное пособие для вузов. (2-е изд.) / В.Н. Волынский. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2003. – 280 с.
5. Белянкин, Ф.П. Прочность и деформативность слоистых пластиков / Ф.П. Белянкин В.Ф. Яценко, Г.И. Дыбенко. – К.: «Наукова думка», 1964. – 218 с.
6. Костриков, П.В. Производство гнукотклееных деталей / П.В. Костриков. – М.: 2006. – 64 с.
7. Хухрянский, П.Н. Прессование и гнутье древесины / П.Н. Хухрянский. – Л.: Гослесбумиздат, 1956. – 244 с.
8. Леонтьев, И.И. Производство гнутой мебели / И.И. Леонтьев, Л.Г. Абухов. – М.: Гослесбумиздат, 1954. – 120 с.
9. Жлуктенко, В.І. Теорія ймовірностей з елементами математичної статистики / В.І. Жлуктенко, С.І. Наконечний. – К.: НМК НО, 1991. – 425 с.
10. Robert, V. Hogg Introduction to Mathematical Statistics (7-th Edition) / Robert V. Hogg, Allen T. Craig, Joseph McKean. – Hardcover, 2012. – 640 p.

THE ISSUE OF FORMATION OF CURVED FURNITURE COMPONENTS BY USING FIBREBOARD

Pylypiv I.Z., pg. NLTUU⁽¹⁾

ip.ua@ukr.net

⁽¹⁾ «National Forestry and Wood Technology University of Ukraine», 79057, st. Generala Chuprinki, 103, Lvov, Ukraine

One of the solutions to the problem of replacing solid wood and veneer in the manufacture of curved furniture components is using a fiberboard (MDF). Such elements are made by bending them while gluing. In this area a number of hand-made furniture items, where fiberboard was used as a material to produce curved surfaces, are presented. To settle the problem of waste, resulting from the formation of curved forms, the theoretical approach has been proposed, that is to analyze research results based on statistical data processing. The fiberboard bending under a horizontally concentrated load has been studied. The study has found that the glue applied to form bending acts as a plasticizer. The time interval before bending a fiberboard with an adhesive coated has varied from 2 min to 10 min., during which a fiberboard has plasticized in various degrees. It has been proved that the time during which a board is the most plastic is 6-7 min when using PVA adhesives. Among the factors that affect the defect-free curve in the manufacture of curved elements are a fiberboard thickness; if the latter increases from 2.5 mm to 6 mm the minimum bending radii are increased from 70 mm to 230 mm. When comparing graphic interpretations of fiberboard thickness of 2.5 mm and 6.0 mm, for a board as thick as 6.0mm there is a significant difference in the range between the upper and lower limit value of the minimum radius. This indicates that the bilateral glue saturation with an increasing thickness of a board shows more pronounced plasticizing, as opposed to one-sided saturation. The results give a good reason to believe that a better improvement of the bending process can be achieved by plasticizing fiberboards. In particular, this improvement depends on the choice of glue, the plasticizing period and the use of a smaller board thickness.

Keywords: fiberboard, plastification, bending, curved elements.

References

1. *Spravochnik mebel'shchika. Konstruktsii i funktsional'nye razmery. Materialy. Tekhnologiya proizvodstva* [Furniture maker Directory. Construction and functional dimensions. Materials. Production technology]. Moscow: Forestry, 1985. 360 p.
2. Yanov V.V., Belov A.A. *Khudozhestvennoe konstruirovaniye mebeli* [Art designing furniture]. M.: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1971. 224 p.
3. Shumega S.S. *Spetsial'na tekhnologiya meblevogo virobnitstva* [Spetsialna tehnologiya meblevogo virobnitstva]. K.: Vishcha shk. Golovne vid-vo, 1981. 242 p.
4. Volynskiy V.N. *Tekhnologiya kleenykh materialov* [The technology of laminated materials]. Arkhangel'sk: Arkhang. gos. tekhn. un-t, 2003. 80 p.
5. Belyankin F.P., Yatsenko V.F., Dybenko G.I. *Prochnost' i deformativnost' sloistykh plastikov*. K.: Naukova dumka, 1964. 218 p.
6. Kostrikov P.V. *Proizvodstvo gnutokleenykh detaley* [Manufacturing gnutokleenykh parts]. Moscow, 2006. 64 p.
7. Khukhryanskiy P.N. *Pressovanie i gnut'e drevesiny* [Pressing and gnutе wood]. Leningrad: Goslesbumizdat, 1956. 244 p.
8. Leont'ev I.I., Abukhov L.G. *Proizvodstvo gnuтой mebeli* [Production of bent furniture]. Moscow: Goslesbumizdat, 1954. 120 p.
9. Zhluktenko V.I. *Teoriya ymovirnostey z elementami matematichnoi statistiki* [Some of the elements Teoriya ymovirnostey s matematichnoi statistics]. K.: NМК NO, 1991. 425 p.
10. Robert V. Hogg Introduction to Mathematical Statistics (7-th Edition). Robert V. Hogg, Allen T. Craig, Joseph McKean. Hardcover, 2012. 640 p.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНЫХ ПЛАСТИКОВ БЕЗ ДОБАВЛЕНИЯ СВЯЗУЮЩИХ

А.В. САВИНОВСКИХ, *асп. УГЛТУ*⁽¹⁾,
А.В. АРТЕМОВ, *доц., УГЛТУ, канд. техн. наук*⁽¹⁾,
В.Г. БУРЫНДИН, *проф., УГЛТУ, д-р техн. наук*⁽¹⁾

savinovskihand@gmail.com, tom-art@ya.ru, vgb@usfeu.ru

⁽¹⁾ Уральский государственный лесотехнический университет
620100, Свердловская область, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37

В данной работе изучены закономерности процесса образования древесных пластиков без добавления связующих (ДП-БС) и влияние на него химических модификаторов с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). В качестве модификаторов использовались: изометилтетрагидрофталевый ангидрид, уротропин, пероксид водорода, активный ил, кавитационный и гидролизный лигнин. Были определены следующие физико-механические свойства полученных пластиков: прочность при изгибе, модуль упругости при изгибе, твердость по Бринеллю, водопоглощение и разбухание за 24 часа. Методом ДСК изучена термокинетика образования ДП-БС в замкнутом пространстве. Полученные кинетические данные показывают, что наблюдается двухступенчатый режим превращения компонентов древесины. Для нахождения оптимальных условий получения ДП-БС проведено математическое планирование эксперимента с использованием плана Бокса-Уилсона типа 2^{4-1} были получены уравнения регрессий и найдены рациональные значения факторов получения ДП-БС. Показано, что путем модификации древесных частиц различными модификаторами можно улучшить эксплуатационные свойства древесных пластиков, которые можно получать из этих пресс-материалов без добавления связующих в закрытых пресс-формах. При этом возможно использование смесей модификаторов. Установлено влияние влажности пресс-материала на процесс образования ДП-БС: чем больше влажность, тем меньше физико-механические свойства, такие как прочность при изгибе, твердость по Бринеллю, модуль упругости при изгибе.

Ключевые слова: дифференциальная сканирующая калориметрия, древесные пластики, модификаторы

Проблема получения древесно-композиционных материалов из отходов растительного происхождения – из древесины (опилки, стружка, лигнин) и сельскохозяйственных отходов (шелуха пшеницы, солома пшеницы, овес и т.д.) с использованием связующих и без них представляет большой интерес у исследователей. В ряде стран существуют производства древесных композиционных материалов с добавлением к древесным отходам термореактивных и термопластичных органических и минеральных связующих.

Материалы на основе некоторых отходов растительного происхождения могут изготавливаться без применения специальных связующих или с небольшой их добавкой. В таких материалах частицы древесины связываются в результате сближения и переплетения волокон, их когезии и физико-химических связей, возникающих при пьезотермической обработке пресс-массы.

Компонентный состав растительного и древесного сырья одинаков, но отличается по содержанию и химическому строению.

Например, химический состав древесины хвойных пород (% мас.) изменяется в следующих пределах: целлюлоза – (35...50); лигнин – (27...30); гемицеллюлоза – (20...25) [1].

Выполненными ранее работами [2] установлена возможность активации и модификации пресс-сырья для получения древесного пластика без добавления синтетических связующих с высокими технологическими свойствами с помощью активного ила (в виде иловой смеси) и лигнина полученного методом кавитации.

Целью работы является исследование влияния влажности, химических, биоактивных модификаторов на физико-механические свойства древесного пластика без синтетического связующего.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования использовали сосновые опилки фракцией 0,4–0,7 мм с влажностью (8 %, 12 %, 18 %) и химические модификаторы: изометилтетрагидрофталевый ангидрид (ИМТГФА), гидро-

Кинетические параметры формальной кинетики процесса образования ДП-БС
Kinetic parameters of formal kinetics of WP-WR production process

№ п/п	Показатель	Состав пресс-композиции			
		W=12 %	L = 3 % A = 4 % W=6 %	L = 68 % A = 2,5 % W=17,9 %	A = 4 % W=12 %
Первый этап процесса					
1	Предэкспоненциальный множитель $\lg A_1, c^{-1}$	11,2	8,25	12,1	4,7
2	Энергия активации E_1 кДж/моль	147,3	115,2	160,8	88,1
Второй этап процесса					
3	Предэкспоненциальный множитель $\lg A_2, c^{-1}$	2,4	9,1	11,7	6
4	Энергия активации E_2 кДж/моль	115,0	87,9	112,6	82,0
5	Порядок реакции, n	0,9	1,95	1,8	1,9
6	Коэффициент корреляции, r^2	0,9	0,96	0,9	0,9
<i>L</i> – гидролизный лигнин, %, <i>A</i> – ИМТГФА, %, <i>W</i> – влажность пресс-сырья, %					

лизный лигнин (ГЛ), кавитационный лигнин (КЛ) и активный лигнин (АИ).

Для определения кинетических параметров образования древесного пластика использовали дифференциальный сканирующий калориметр фирмы MettlerToledo марки DSC 823e/700 [3].

Измерения проводились в потоке газообразного аргона, обеспечивающий необходимый теплообмен и защиту от конденсации воды и окисления образца по методике, приведенной в работах [4].

КЛ получали при прохождении акустической волны большой интенсивности во время полупериода разрежения (акустическая кавитация).

Активный ил – искусственно выращиваемый биоценоз при аэрации антропогенно загрязненных вод, населенный гелепродуцирующими бактериями гетеротрофами, хемотрофами, простейшими и многоклеточными животными, которые удаляют загрязняющие вещества из сточных вод в результате биосорбции, биохимического окисления и выедания бактерий [5].

Для изучения влияния исходной влажности пресс-материала и его химической модификации на физико-механические свойства, были изготовлены образцы ДП-БС методом горячего прессования в закрытой пресс-форме в виде диска диаметром 90 мм и толщиной 2 мм. Режимы изготовления образцов: давление прессования – 40 МПа, температура прессова-

ния – (165±195)°С, время прессования (10 мин) и охлаждения под давлением (10 мин), время кондиционирования 24 часа. В качестве переменных факторов также используется влажность, количество ИМТГФА, ГЛ и КЛ.

Испытания свойств ДП-БС были проведены в соответствии с [6–9].

Результаты и их обсуждение

С целью установления влияния изучаемых факторов (влажность, количество ИМТГФА и ГЛ) на процесс образования ДП-БС были проведены исследования с использованием метода ДСК.

Снятие ДСК кривых проводили в закрытых тиглях при 3-х скоростях нагрева (5, 10 и 20 К/мин), что позволяет рассчитать кинетические параметры формальной кинетики образования ДП-БС. Для расчета использовали программный продукт фирмы «Netzsch (термокинетика)». Установлено, что наиболее достоверной моделью (коэффициент корреляции более 0,9, табл.1) является модель вида: $A - 1 \rightarrow B - 2 \rightarrow C$. При этом первый этап – реакция n-го порядка с автокатализом, второй этап – реакция n-го порядка.

Из табл.1 видно, что для первого этапа процесса образования пластика наименьшей энергией активации обладает модифицированный пресс-материал, содержащий ИМТГФА с влажностью 12 %, и составляет 88,1 кДж/моль. При введении в пресс-композицию ГЛ приводит к увеличению энергииакти-

вазии, что свидетельствует о невысокой его химической активности. Большое введение ГЛ (68 %) повышает энергию активации в 1,4 раза по сравнению с пресс-композицией, содержащей ИМТГФА.

На втором этапе процесса образования ДП-БС наименьшей энергией активации также обладает пресс-композиция, модифицированная 4 % ИМТГФА, и составляет 82 кДж/моль.

Для нахождения оптимальных условий получения ДП-БС проведено математическое планирование эксперимента с использованием плана Бокса-Уилсона типа 2^{4-1} [10].

Используя полученные результаты получили уравнения регрессии в виде полинома второй степени по каждому определенному свойству ДП-БС с оценкой значимости коэффициентов по критерию Стьюдента и адекватности уравнений по критерию Фишера.

С помощью пакета ППП «MicrosoftExcel» «Поиск решения» были рассчитаны рациональные режимы прессования для получения ДП-БС, исходя из условий получения максимальных прочностных показателей и водостойкости.

Для нахождения рационального режима получения ДП-БС с высокими прочностными свойствами в качестве целевой функции использовалось уравнение твердости, т.к. оно более достоверно по критерию Фишера, чем уравнения прочности при изгибе.

В качестве переменных факторов были выбраны содержание ГЛ (Z_1) – (3...77) % мас., температура прессования (Z_2) – (165...195) С°, содержание ИМТГФА (Z_3) – (1...7) % мас. и

влажность пресс-композиции (Z_4) – (6...18) % мас.

$$y(T) = 2094,682 - 22,7082 \cdot z_2 + 0,01001 \cdot z_1^2 + 0,070731 \cdot z_2^2 + 2,867344 \cdot z_3^2 + 0,528836 \cdot z_4^2 - 0,01464 \cdot z_1 \cdot z_2 + 0,119196 \cdot z_1 \cdot z_3 + 0,096814 \cdot z_1 \cdot z_4 - 0,20282 \cdot z_2 \cdot z_3 - 0,12712 \cdot z_2 \cdot z_4 + 1,004348 \cdot z_3 \cdot z_4.$$

Кроме того, для получения однозначного решения были введены ограничения как по диапазону изменения изучаемых факторов, так и другим определенным свойствам пластика.

При нахождении рационального режима получения ДП-БС с высокими показателями водостойкости в качестве целевой функции использовалось уравнение водопоглощения.

$$y(B) = 579,66 - 5,164643621 \cdot z_2 + 0,004302 \cdot z_1^2 + 0,015717 \cdot z_2^2 + 0,508606 \cdot z_3^2 + 0,083767 \cdot z_4^2 - 0,00697946 \cdot z_1 \cdot z_2 + 0,058506239 \cdot z_1 \cdot z_3 + 0,03344138 \cdot z_1 \cdot z_4 - 0,0922069 \cdot z_2 \cdot z_3 - 0,0418828 \cdot z_2 \cdot z_4 + 0,749358107 \cdot z_3 \cdot z_4.$$

Результаты расчета рациональных значений получения ДП-БС приведены в табл.2.

Проведенные расчеты показали, что для изготовления ДП-БС с заданными свойствами требуется различная рецептура (табл. 2) пресс-композиции и условия его получения.

При найденных рациональных значениях были изготовлены образцы и определены их физико-механические свойства (табл. 3).

Исходя из анализа данных поверхностей и решений систем уравнений, используя средства ПП «MicrosoftExcel», подобрали рациональный режим биоактивации древесного пресс-сырья активным илом для получения ДП-БС, исходя из условий получения максимальных прочностных показателей и показателя водостойкости.

В качестве переменных факторов были выбраны содержание КЛ (Z_1) – (3...77) % мас., температура прессования (Z_2) – (165...195) С°, количество ИМТГФА (Z_3) – (1...7) % мас. и влажность пресс-композиции (Z_4) – (6...18) % мас., продолжительность активации (Z_5) – (7...20) сут., расход иловой смеси (Z_6) – (10...20), %.

При нахождении рационального режима получения ДП-БС с использованием активного ила с высокими показателями водостойкости, в

Т а б л и ц а 2

Рациональные значения факторов получения ДП-БС

Rational values of the factors of producing WP-WR

Показатели	Целевая функция	
	Твердость	Водопоглощение
Z_1 , %	3	68
Z_2 , С°	180	195
Z_3 , %	4	2
Z_4 , %	6	17

Расчетные и экспериментальные значения физико-механические свойства ДП-БС при рациональных условиях

The calculated and experimental values of physical and mechanical properties of ДП-БС under rational conditions

Свойство	Прочностные показатели		Показатели водопоглощения	
	Расчетное значение	Экспериментальное значение	Расчетное значение	Экспериментальное значение
Прочность при изгибе, МПа	14	12	–	–
Модуль упругости, Па	2066	2154	2123	1402
Твердость, МПа	99	42	40	20
Водопоглощение, %	74	59	18	34
Разбухание, %	4,0	5,0	0,5	1,0

Расчетные и экспериментальные значения физико-механические свойства ДП-БС из биоактивированного пресс-сырья при рациональных условиях

The calculated and experimental values of the physical and mechanical properties of the WP-WR bioactivated press materials under rational conditions

Свойство	Прочностные показатели	
	Расчетное значение	Экспериментальное значение
Прочность при изгибе, МПа	5,2	3,4
Модуль упругости, Па	2275	2154
Твердость, МПа	64	49
Водопоглощение, %	31	73
Разбухание, %	3	3

**Физико-механические свойства
Physical and mechanical properties**

№ п/п	Физико-механические свойства	Влажность			Модификатор, W=12 %			
		8 %	12 %	16 %	4 % -C ₆ H ₁₂ N ₄	1,8 % – H ₂ O ₂	КЛ -15 %	КЛ – 40 %: Расход АИ – 15 %*
1	Модуль упругости при изгибе, мПа	1734	1038	1272	3100,9	1355	1576	2154
2	Прочность при изгибе, мПа	12	8	7	12,8	10,3	9,1	3,4
3	Твердость, мПа	44	29	25	29,8	27,7	15	49
4	Водопоглощение, %	76,5	59,1	65,7	148	121,7	29	73
5	Разбухание, %	7,8	6	5,8	12	7,92	2	3

*– По количеству пресс-сырья

качестве целевой функции использовалось линейное уравнение водопоглощения.

$$y(B)=166,67 + 0,11 \cdot Z_1 - 0,74 \cdot Z_2 - 0,21 \cdot Z_6 - 0,22 \cdot Z_5 + 0,97 \cdot Z_4$$

При найденных рациональных значениях были изготовлены образцы и определены их физико-механические свойства (табл. 4).

В табл. 5 приведены сводные данные ДП-БС с использованием различных модификаторов.

Показано, что путем модификации древесных частиц уротропином, пероксидом

водорода, кавитационным лигнином можно улучшить эксплуатационные свойства древесных пластиков, которые можно получать из этих пресс-материалов без добавления связующих в закрытых пресс-формах. При этом возможно использование смесей модификаторов.

Таким образом, методом ДСК изучена термокинетика образования ДП-БС в замкнутом пространстве. Полученные кинетические данные показывают, что наблюдается двухступенчатый режим превращения компонентов древесины.

Установлено влияния влажности пресс-материала на процесс образования ДП-БС: чем больше влажность, тем меньше физико-механические свойства, такие как прочность при изгибе, твердость, модуль упругости при изгибе.

Библиографический список

1. Азаров, В.И. Химия древесины и синтетических полимеров: Учебник для вузов / В.И. Азарова, А.В. Буров, А.В. Оболенская. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 628 с.
2. Савиновских, А.В. Исследование физико-механических свойств древесно-композиционных материалов без добавления связующих веществ, полученных на основе активированного пресс-сырья. / А.В. Савиновских, З.Ф. Хуснутдинова, А.В. Артемов и др. // Вестник казанского технологического университета. – 2014. – Т.17. – № 17. – С. 130–133.
3. Савиновских, А.В. Закономерности образования древесных пластиков без добавления связующих с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии / А.В. Савиновских, А.В. Артемов, В.Г. Бурындин

// Вестник казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – №3. – С. 37–40.

4. Берштейн, В.А. Дифференциальная сканирующая калориметрия в физикохимии полимеров / В.А. Берштейн. – Л.: Химия, 1990. – 254 с.
5. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
6. ГОСТ 4648-71. Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб. – Введ. с 1973-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 12 с.
7. ГОСТ 4650-80. Пластмассы. Метод определения водопоглощения. – Введ. с 1980-12-01. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 7 с.
8. ГОСТ 4670-77. Пластмасса и эбонит. Метод определения твердости вдавливанием шарика. – Введ. с 1993-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
9. ГОСТ 10634-88. Плиты древесностружечные. Методы определения физических свойств (с изменением №1). – Введ. с 1990-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 7 с.
10. Ахназарова, С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С.Л. Ахназарова. – М.: Высшая Школа, 1985. – 327 с.

THE INFLUENCE MODIFIERS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD PLASTIC WITHOUT USING RESIN

Savinovskikh A.V., pg. USFEU ⁽¹⁾; Artyomov A.V., Assoc. Prof. USFEU, Ph.D. (Tech.) ⁽¹⁾; Buryndin V.G., Prof. USFEU, Dr. Sci. (Tech.) ⁽¹⁾

savinovskihand@gmail.com, tom-art@ya.ru, vgb@usfeu.ru

⁽¹⁾Ural State Forest Engineering University, 620100, Ekaterinburg, Russia, Sibirsky tract, 37

In this paper we have studied the process of the formation of wood plastics without using resin (WP-WR) and the chemical modifiers influence on it while using the differential scanning calorimetry (DSC). Isomethyltetrahydrophthalic anhydride, methenamine, hydrogen peroxide, active sludge, cavitation and hydrolysis lignin have been used as chemical modifiers. The following physical and mechanical properties of the plastics: flexural strength, modulus of elasticity, Brinell hardness, water absorption and swelling for 24 hours, have been identified. By differential scanning calorimetry the thermokinetics equation for WP-WR in the closed space has been studied. The resulting kinetic data show that there is a two-step mode of wood components conversion. To find the optimal conditions for obtaining the WP-WR the mathematical planning of an experiment with a plan using Box-Wilson type 241 was carried on; certain regression equations were obtained and the rational values of factors of producing WP-WR were found. It is shown that by modifying wood particles with various modifiers the manufacturers can improve the performance properties of wood plastics which can be produced from these press materials without using resin in closed molds. It is possible to use some mixtures of modifiers. The effect of press-material moisture level on the process of fWP-WR formation was described as follows: the greater moisture level is, the worse physical and mechanical properties such as flexural strength, Brinell hardness and flexural modulus are.

Keywords: differential scanning calorimetry, wood plastics, modifiers.

References

1. Azarov V.I., Burov A.V. *Obolenskay A.V. Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Wood chemistry and synthetic polymers]. St.Petersburg, SPbLTA., 1999, 628 p.
2. Savinovskikh A.V., Artyomov A.V., Buryndin V.G. *Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesno-kompozitsionnykh materialov bez dobavleniya svyazuyushchikh veshchestv, poluchennykh na osnove aktivirovannogo press-syr'ya* [Study of physico-mechanical properties of the wood composite material without without using resin obtained by press-activated materials]. Vestnik Kazan Technological University, 2014, no.17; pp 130-133.
3. Savinovskikh A.V., Z. F. Khusnutdinova, Artyomov A.V., O. V. Stoyanov, Buryndin V.G. *Zakonornosti obrazovaniya drevesnykh plastikov bez dobavleniya svyazuyushchikh s ispol'zovaniem differentsial'noy skaniruyushchey kalorimetrii* [Laws of formation of wood plastics without using resins using differential scanning calorimetry]. Vestnik Kazan Technological University, 2012, no.3; pp 37-40.
4. Berstein V.A. *Differentsial'naya skaniruyushchaya kalorimetriya v fizikokhimi polimerov* [Differential scanning calorimetry in the physical chemistry of polymers]. Chemistry, Leningrad, 1990. 254 p.
5. Jmour N.S. *Tekhnologicheskie i biokhicheskie protsessy ochistki stochnykh vod na sooruzheniyakh s aerotenkami* [Technological and biochemical processes of waste water treatment on treatment plants with aerotanks]. Moscow, AQUAROS, 2003. – 512 p.
6. GOST 4648-71. *Plastmassy. Metod ispytaniya na staticheskiy izgib* [State Standard 4648-71. Plastic. Test method for static bending]. Moscow, Standartinform Publ., 1992. 12 p. (In Russian)
7. GOST 4650-80. *Plastmassy. Metod opredeleniya vodopogloshcheniya* [State Standard 4650-80. Plastic. Method for determination of water absorption]. Moscow, Standartinform Publ., 1997. 7 p. (In Russian)
8. GOST 4670-77. *Plastmassa i ebonit. Metod opredeleniya tverdosti vдавливаниem шарика* [State Standard 4670-77. Plastics and ebonite. Method for determination of hardness indentation of the ball]. Moscow, Standartinform Publ., 1992. 6 p. (In Russian)
9. GOST 10634-88. *Plity drevesnostruzhechnye. Metody opredeleniya fizicheskikh svoystv (s izmeneniem №1)* [State Standard 10634-88 8. Flake. Methods of determining the physical properties (with change №1)]. Moscow, Standartinform Publ., 1991. 7 p. (In Russian)
10. Ahnazarova S.L. *Metody optimizatsii eksperimenta v khimicheskoy tekhnologii* [Methods of optimization experiments in chemical technology]. Moscow, 1985, 327 p.

ИННОВАЦИОННЫЕ ЛЕГКИЕ ПАНЕЛИ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Н.В. СКУРАТОВ, *проф.*, МГУЛ, канд. техн. наук ⁽¹⁾

skuratov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

В статье описаны разработанные за последние годы в разных странах инновационные облегченные композиционные материалы на основе древесины и способы их изготовления. Во многом рост интереса к таким материалам обусловлен желанием производителей уменьшить производственные затраты за счет включения в программу выпуска панелей с пониженной плотностью. Пожелания потребителей являются дополнительным стимулом к снижению веса плитной продукции. Как реакция на этот запрос в рамках финансируемой Евросоюзом программы “COST” была подготовлена и реализована научно-исследовательская подпрограмма «Легкие композиты на основе древесины». В 2011 и 2013 гг. в ходе выставок деревообрабатывающего оборудования «LIGNA» (Германия) проводились специализированные конференции по легким панелям на основе древесины («International Conference on Lightweight Panels»). Недавно в Евросоюзе был подготовлен специальный стандарт на легкие древесностружечные плиты (ДСтП). В последние 10–15 лет разработки новых плит и панелей с объемным весом ниже 450–500 кг/куб. м велись по четырем основным направлениям. Первое направление, по которому пошли многие известные производители, связано с уменьшением количества древесного наполнителя при производстве ДСтП. Другой способ, заключающийся в использовании менее плотной, как правило плантационной древесины, применяется при производстве не только ДСтП, но также фанеры и многослойных панелей из массивной древесины. Недавно был разработан композит, плотность которого существенно снижена за счет замены определенного количества измельченной древесины специальным вспененным полимером. Еще меньшую плотность имеет новый трехслойный композит со средним слоем из расширяющейся полиуретановой пены. Вес панелей может быть снижен за счет создания внутренних воздушных полостей в процессе их производства. Этот способ уже применяется при производстве легких ДСтП повышенной толщины, внутри которых имеются продольные цилиндрические полости. Этот же подход использован в недавно разработанных конструкциях облегченных трехслойных панелей из массивной древесины, средний слой которых имеет ячеистую структуру.

Ключевые слова: плиты, легкие панели, панели на основе древесины, композиционные материалы.

Древесина является сырьем для производства не только пиломатериалов, но и различных древесных композитов. Благодаря достаточно высоким эксплуатационным характеристикам и сравнительно невысокой стоимости композиционные материалы на основе древесины широко используются в строительстве, авто- и судостроении, для изготовления мебели, элементов интерьера и т. д.

Композиционные материалы принято делить на две подгруппы: клееная древесина и материалы на основе измельченной древесины [1]. К первой подгруппе относится продукция, полученная из массивной древесины и шпона: массивная клееная древесина, слоистая клееная древесина и комбинированная клееная древесина. В нее же входят сравнительно недавно появившиеся на рынке многослойный брус из шпона (ЛВЛ) и перекрестно-клееные панели (СЛТ).

Вторая подгруппа включает разнообразные композиционные материалы, изготовленные, как правило, из низкокачественной древесины и отходов производства. Сюда от-

носятся древесностружечные плиты (ДСтП), древесноволокнистые плиты низкой (ДВП), средней (МДФ) и высокой (ХДФ) плотности, ориентированно-стружечные плиты (ОСП), древесные формовочные прессмассы (ДФП), древесно-полимерные композиты (ДПК) и многие другие материалы.

Для производства древесных композитов в качестве сырья используется массивная древесина, шпон, древесные частицы различных форм и размеров, волокно. В зависимости от вида сырья древесные композиты можно разделить на четыре группы (рис. 1).

В последние годы потребление различных плитных материалов в нашей стране неуклонно растет, что в значительной мере связано с увеличением выпуска мебели и ростом жилищного строительства (рис. 2). В этот же период отмечался заметный рост потребления мебельных щитов, а также столярных плит и различных панелей из массивной древесины, в основном европейского производства.

Эксплуатационные свойства и, прежде всего, механические характеристики древес-



Рис. 1. Композиционные материалы на основе древесины

Fig. 1. Composite materials based on wood

ных композитов существенно зависят от их объемной плотности (рис. 3). Чем больше плотность, тем выше прочность и жесткость композита. С другой стороны, более плотные материалы имеют больший вес и для их производства требуется больше сырья.

Наблюдающийся с конца прошлого века рост стоимости сырья и энергии, а также растущая конкуренция вынудили ведущих европейских производителей плитной продукции изыскивать возможности для минимизации издержек производства. Одним из направлений снижения себестоимости продукции стало уменьшение плотности плит за счет снижения расхода древесного сырья при обеспечении заданных эксплуатационных свойств. Очевидно, что более легкую продукцию дешевле упаковывать, хранить и транспортировать. Дополнительным стимулом к снижению веса плитной продукции, что особенно важно для производителей мебели, послужила директива Евросоюза, ограничивающая вес одной упаковочной единицы, которую может поднимать один человек, величиной 25 кг [2].

Для того чтобы помочь европейским производителям плитной продукции снизить производственные издержки и повысить конкурентоспособность, в рамках программы "COST", финансируемой Евросоюзом, была подготовлена и реализована научно-исследовательская подпрограмма «Легкие композиты на основе древесины» [3]. Также важность

этого направления исследований подтверждается тем, что в 2011 и 2013 гг. в рамках одной из крупнейших в мире выставки деревообрабатывающего оборудования «LIGNA» в г. Ганновер (Германия) проводились специализированные конференции по легким панелям на основе древесины («International Conference on Lightweight Panels»). Недавно в Евросоюзе был подготовлен специальный стандарт на легкие ДСтП [4].

В настоящее время принято называть легкими плиты и панели с объемным весом ниже 450–500 кг/куб.м [5]. В последние 10–15 лет разработки новых облегченных плит и панелей велись по четырем основным направлениям. Первое направление связано с уменьшением количества древесного наполнителя. Например, известный австрийский производитель плитных композиционных материалов компания «Эггер» (Egger) выпускает специальные легкие плиты (Extra Light) толщиной 38 мм и плотностью менее 450 кг/м³ [6]. Немецкая фирма «Элка-Хольцверке» (Elka-Holzwerke) изготавливает под заказ толстые ДСтП (Light Chipboard) плотностью 450–475 кг/м³ [7]. Немецкий производитель оборудования для производства древесных композитов «Диффенбахер» (Dieffenbacher) предлагает оборудование и технологию производства ДСтП пониженной плотности, для изготовления которых требуется заметно меньше древесного сырья [8].

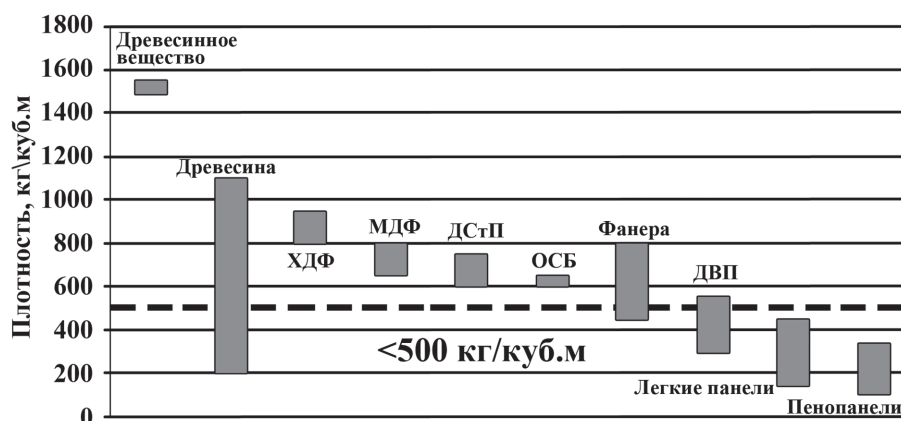


Рис. 2. Потребление плитных материалов в России в 2009–2014 гг. по данным UNECE/FAO
 Fig. 2. Consumption of panel materials in Russia in 2009–2014, according to the UNECE / FAO

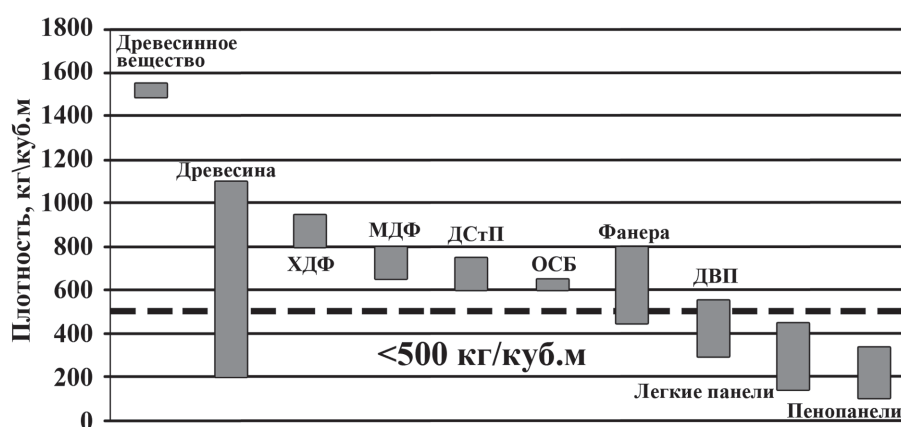


Рис. 3. Плотность древесины и различных композиционных материалов на ее основе
 Fig. 3. The density of wood and that of various composite materials on its basis

На протяжении последних лет многие компании совместно со специалистами профильных североамериканских и европейских университетов работают над созданием новых легких плитных материалов на основе древесины. Не так давно компания ИКЕА (IKEA) анонсировала проект производства облегченных ДСтП на ее предприятии в г. Новгород, который планируется реализовать к 2017 г. [9]. В 2011 г. на выставке LIGNA австрийская фирма Дасканова (Dascanova) представила образцы новых ДВП и ДСтП, в которых плотность волнообразно изменяется по объему [10]. По мнению разработчиков, благодаря неравномерному распределению плотности прочность таких плит увеличится, а вес снизится. К сожалению, до сих пор промышленный выпуск таких плит еще не начал.

Другой способ снижения плотности ДСтП заключается в использовании менее

плотной древесины для их производства [11]. Британская компания «Winwood Products Ltd» недавно начала поставлять на рынок ультра-легкие облицованные ДСтП из древесины тополя под торговой маркой «Ультралайт» (Ultralight) плотностью 450 кг/м³ [12].

Такой же подход успешно применяется и в производстве облегченной фанеры. В настоящее время многие производители в мире используют древесину тополя для изготовления легкой фанеры, плотностью около 450 кг/м³. А многие из них, например итальянская компания «И. Виголунджо» (E. Vigolungo), выпускают фанеру из плантационной древесины тополя плотностью 400 кг/м³ [13]. Несколько лет тому назад в США была разработана технология производства фанеры из древесины павловнии (Paulowina), которая приблизительно на 40 % легче, чем обычная березовая фанера [14]. Немецкая компания СВЛ (SWL) освоила выпуск

легкой фанеры плотностью около 300 кг/куб. м из древесины албазии (Albasia) [15]. По-видимому, самую легкую фанеру из древесины бальзы под торговой маркой «Баннова Плай» (Banova Ply) выпускает известная швейцарская компания «3А Композитс» (3A Composites), специализирующаяся на разработке и производстве инновационных материалов [16].

Необходимо отметить, что многие зарубежные производители используют плантационную древесину низкой плотности для изготовления одно- и многослойных массивных панелей различного назначения [13,16,17].

Еще один способ снижения веса ДСтП путем замены части измельченной древесины легким полимером использовал старейший испанский производитель плитной продукции компания «Финса» (Finsa). Совместно с международным концерном «БАСФ» (BASF) была разработана технология производства легких трехслойных плит, средний слой которых состоит из смеси измельченной древесины и специального вспененного полимера [18]. Такие плиты с наружными слоями из МДФ на 20 % легче, чем аналогичная продукция других производителей.

В Германии несколько лет тому назад была разработана технология непрерывного производства трехслойных панелей плотностью менее 400 кг/м³ со средним слоем из расширяющейся полиуретановой пены [5, 19]. В зависимости от назначения наружные слои толщиной несколько миллиметров могут быть сделаны из ДСтП или ДВП. Утверждается, что механические характеристики таких панелей можно изменять в достаточно широких пределах путем задания соответствующих режимных параметров [20].

Уменьшение веса панелей может быть достигнуто за счет создания внутренних воздушных полостей в процессе их производства. Трехслойные панели с сотовым бумажным или картонным наполнителем известны уже несколько десятилетий, и их незначительные модификации, периодически появляющиеся на рынке под разными торговыми названиями, нельзя считать инновационными продуктами.

В начале нынешнего века канадская компания «Сидаркрест Вуд Продактс» (Cedarcrest

Wood Products) освоила выпуск легких ДСтП повышенной толщины, внутри которых имеются продольные цилиндрические полости [21]. Эти плиты успешно используются в качестве среднего слоя при изготовлении облегченных трехслойных мебельных, интерьерных и стеновых панелей с различной облицовкой. В настоящее время такие плиты производятся не только в Северной Америке, но и в Китае.

Еще одна канадская компания Коррувен (Corruven Inc.) получила патент на способ изготовления гофрированных панелей из древесных волокон с использованием специально разработанного экологически чистого связующего [22]. Используя эти панели в качестве внутреннего слоя, компания освоила производство легких многослойных плит, способных нести значительную нагрузку.

Совсем недавно в Италии была разработана конструкция трехслойной ячеистой панели, средний слой которой состоит из склеенных между собой тонких гофрированных полос трехслойной фанеры [23]. Авторы отмечают, что, несмотря на малый вес, панели имеют достаточно высокие эксплуатационные характеристики.

В конструкции, предлагаемой шведскими специалистами трехслойной панели, применяется только массивная древесина [24]. В качестве наружных слоев использованы склеенные из ламелей тонкие мебельные щиты. Между ними с равномерными промежутками расположены профилированные бруски. Эти панели, предназначенные для изготовления мебели и элементов интерьера, способны нести значительную нагрузку.

Не так давно в Австрии была разработана легкая панель из древесины (торговая марка Dendrolight ®) с ячеистым средним слоем, полости в котором образуются за счет многочисленных пропилов (рис. 4). Несмотря на сравнительно невысокую плотность 300–400 кг/м³ панели имеют хорошие механические и эксплуатационные характеристики [25]. К сожалению, их производство оказалось достаточно энергоемким и дорогим. Для создания ячеистой структуры в досках, из которых склеиваются панели, делается множество пропилов, на что затрачивается большое



Рис. 4. Облегченная панель из массивной древесины «Dendrolight», облицованная МДФ
Fig. 4. MDF lined lightweight panel «Dendrolight» made from solid wood

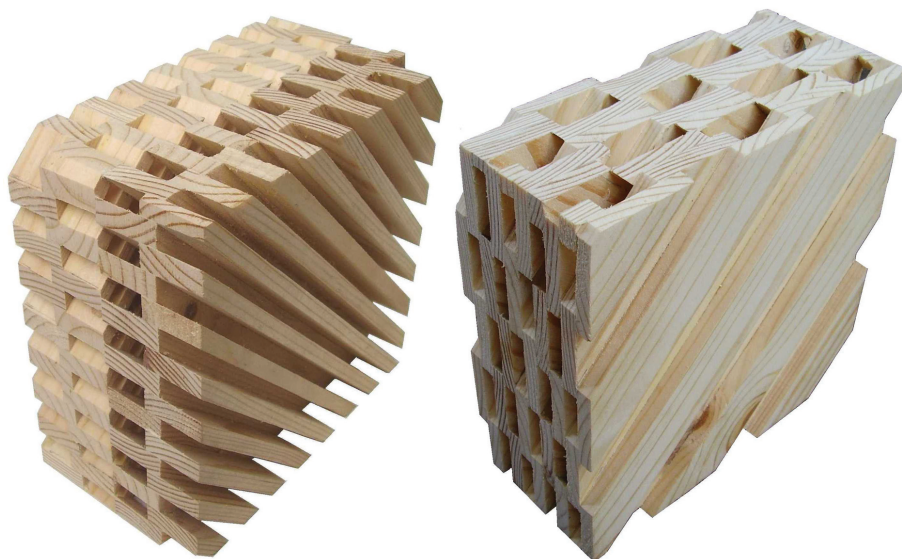


Рис. 5. Новые облегченные панели из древесины
Fig. 5. New lightweight panels made from wood

количество электроэнергии. При этом 40 % древесины превращается в опилки, т.е. дополнительные отходы.

В МГУЛ разработано несколько конструкций более экономичных, с точки зрения расхода древесины, облегченных панелей различного назначения. Два варианта исполнения одной из них без облицовки представлены на рис. 5 [26]. Слои такой панели состоят из ламелей, склеенных между собой по прикромочным зонам их пластей. Из 1 м³ сухих пиломатериалов можно изготовить 1,2 м³ таких панелей и получить при этом 0,3 м³ отходов, в то время как по данным разработчика расчетный выход панелей «Dendrolight» составляет лишь 0,75 м³, а объем отходов достигает 0,65 м³ [27].

Отличительной особенностью двух других конструкций панелей является то, что их слои состоят из ламелей трапециидального сечения, которые можно уложить двумя способами [28, 29, 30]. Ламели такого сечения

могут быть получены после предварительного формирования базовых поверхностей на строгальном станке путем продольного почти диагонального деления заготовок на ленточнопильном станке. Объем такой облегченной панели на 25–30 % больше объема использованных досок за счет образующихся между смежными ламелями воздушных зазоров. Научный центр лесопромышленного комплекса Канады рекомендует изготавливать такие панели, а также панели «Dendrolight», как имеющие высокую добавленную стоимость, на новых производствах [31].

Библиографический список / References

1. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами товароведения: Учебник для вузов / Б.Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2007. – 340 с.
Ugolev B.N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie: Uchebnik dlja vuzov* [Wood Science and Forest Merchandising]. Moscow: MGUL, 2007. 340 p.
2. Council Directive 90/269/EEC. Minimum health and safety requirements for the manual handling of loads where there is a risk particularly of back injury to workers.

3. Medved S. et al. Lightweight wood-based composites: production, properties and usage. Proc. of COST E49 international workshop, Bled, Slovenia, 23-25 June, 2008 // Lightweight wood-based composites: production, properties and usage. Proc. of COST E49 international workshop. Bled, Slovenia, 23-25 June, 2008. COST Action 849, 2008.
4. CEN/TS 16368:2014. Lightweight Particleboards – Specifications.
5. Barbu, M.C., Lüdtkе, J., Thömen, H., and Welling, J. 2010. Innovative production of wood-based lightweight panels. Proc. of International Conference “Technologies for the Forest and Biobased Products Industries”, ed. M. Barbu. Wien, Austria, 2010, pp. 115-122.
6. http://www.egger.com/downloads/bildarchiv/121000/1_121173_TD_EUROSPAN-FIREDOOR_FD30-FD60_EN_HEX.pdf.
7. <http://www.elka-holzwerke.de/en/Leightweight-wooden-materials/light-chipboards.html>.
8. <http://www.dieffenbacher.de/en/wood-based-panels/plants/pb/index.html>.
9. IKEA Group. 2012.10.19. PRESS RELEASE. IKEA increases production in Russia.
10. <https://www.dascanova.com/en/home.html>.
11. Weigl M., Wimmer R., Ledr S., Harm M. Achieving lower density for particle boards by means of raw material selection // Lightweight wood-based composites: production, properties and usage. Proc. of COST E49 international workshop. Bled, Slovenia, 23-25 June, 2008. COST Action 849, 2008. pp. 67-80.
12. <http://www.winwood-products.com/eng/timber-products/chipboard.html>.
13. http://www.vigolungo.com/en/poplar-plywood-faced-blockboard-unidirectional-panels/01_poplar-plywood.html.
14. Stalter W. F. Light-weight Paulowina based plywood : patent 8062762 USA. 2011.
15. <http://s-w-l.com/english/kompetenz/kompetenz.php>.
16. <http://www.3accorematerials.com/products/assortment.html>.
17. <http://www.ibl.it/en/prodotti/blockboards/3-ply-blockboard.html>.
18. [http://www.finsa.es/publicaciones/textosweb.nsf/nombre-en/superPan star.html](http://www.finsa.es/publicaciones/textosweb.nsf/nombre-en/superPan%20star.html).
19. Lüdtkе, J., Welling, J., Thömen, H., & Barbu, M. Lightweight wood-based board and process for producing it. Patent Application No. 12/518,419. USA. 2007.
20. Shalhafan A., Welling J., Luedtke J. Effect of processing parameters on mechanical properties of lightweight foam core sandwich panels //Wood Material Science & Engineering. 2012. V. 7. №. 2. pp. 69-75.
21. <http://http://www.cedarcrestwood.com/hollow-core-products.html>.
22. <http://www.corruven.com/product/corrugation.html>.
23. Negro F., Cremonini C., Zanuttini R., Properzi M., Pichelin F. A new wood-based lightweight composite for boatbuilding// Wood Research. 2011. V. 56. №2. pp. 257-265.
24. Nilsson J., Johansson J., Sandberg D. A new light-weight panel for interior joinery and furniture. Proc. of 9th Meeting of the Northern European Network for Wood Science and Engineering-WSE. Hannover, Germany 11-12 September 2013. pc. 184-189.
25. Iejavs J., Spelle U. Structural properties of cellular wood material. Pro Ligno. 2013. V. 9. №. 4. pp. 491-497.
26. Скуратов, Н. В. Патент на полезную модель. Материал на основе древесины. RU 102206 U1. 25.08.2010. Skuratov N. V. *Patent na poleznuju model'.* *Material na osnove drevesiny.* [The patent for utility model. Wood based material]. RU 102206 U1. 25.08.2010.
27. Skuratov N. New lightweight solid wood panels for green building/ Proc. of International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee, Paper IW-4, 11–14 October, Geneva, Switzerland. 2010. pp. 1–7.
28. Скуратов, Н.В. Патент на полезную модель. Клееный щит из древесины. RU 93328 U1. 30.10.2009. Skuratov N.V. *Patent na poleznuju model'.* *Kleenyj shhit iz drevesiny* [The patent for utility model. Glued wood board]. RU 93328 U1. 30.10.2009.
29. Скуратов, Н.В. Патент на полезную модель. Клееный щит из древесины. RU 102205 U1. 25.08.2010. Skuratov N. V. *Patent na poleznuju model'.* *Kleenyj shhit iz drevesiny* [The patent for utility model. Glued wood board]. RU 102205 U1. 25.08.2010.
30. Skuratov N., Ishak E. International Patent PCT/IB2010/002769. SEMISOLID WOODEN PANEL MADE OF PROFILED WOOD SECTIONS GLUED TOGETHER. Switzerland. Publication date: 05.05.2011.
31. <http://www.edo.ca/downloads/wood-based-opportunities.pdf>.

INNOVATIVE LIGHTWEIGHT WOOD BASED PANELS

Skuratov N.V., Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾

skuratov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

Innovative lightweight composite wood based materials, developed recently in different countries, are described in the paper. Largely, an increasing interest in these materials is due to the desire of manufacturers to reduce production costs through the inclusion of panels with lower density in the program of production. The wishes of consumers are an additional incentive to reduce the weight of panel products. As a reaction to this request in the framework of EU-funded program «COST» the research subprogram «Lightweight wood-based composites» has been prepared and implemented. In 2011 and 2013 during the fairs of woodworking equipment «LIGNA» in Germany the specialized conferences on lightweight wood-based panels were held. Recently in EU the specific standard for lightweight chipboards has been established. During the last 10-15 years the developments of new plates and panels with bulk density lower than 450-500 kg/cu. m were carried out in four main directions. The first direction in which many well-known manufacturers have moved is a decrease of the wood filler amount in the particleboards. Another method consisting in using a less dense, as a rule, plantation wood is applied for not only production of particleboards and plywood, but also for multi-layer solid wood panels. Not so long ago, a composite with significantly reduced density due to replacement of certain amount of chopped wood by special foamed polymer has been developed. A new three-layer composite with a core made from expanding polyurethane foam has an even lower density. Weight of panels can be reduced by creating the internal air cavities during their manufacture. This method is already used in the production of lightweight thick chipboards having longitudinal cylindrical internal cavities. The same approach is used in the newly developed lightweight three-layer solid wood panels having honeycomb middle layers.

Key words: boards, lightweight panels, wood based panels, composite materials.

УДК 674.047

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Н.В. СКУРАТОВ, *проф.*, МГУЛ канд. техн. наук⁽¹⁾,
И.В. САПОЖНИКОВ, *доц.*, МГУЛ, канд. техн. наук⁽¹⁾,
Д.А. САМОЙЛЕНКО, *асп.* МГУЛ⁽¹⁾,
И.И. АЛЕКСЕЕВА, *асп.* МГУЛ⁽¹⁾

skuratov@mgul.ac.ru, gosha@mgul.ac.ru, samoylenko@mgul.ac.ru, alexeeva@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Для процессов конвективной сушки древесины характерными являются граничные условия 3-го рода. В соответствии с ними плотность потока влаги на поверхности равна коэффициенту влагообмена, умноженному на разность между поверхностной и равновесной влажностью. Из этого равенства можно вычислить коэффициент влагообмена. Если для определения плотности потока влаги достаточно периодически фиксировать вес опытного образца, то измерение поверхностной влажности связано со значительными трудностями. Весовой способ определения послойной влажности имеет низкую разрешающую способность. Современные косвенные методы, в которых применяется компьютерная томография, рентгеноскопия, а также спектроскопия в инфракрасном диапазоне, обеспечивают достаточно высокое разрешение. Однако они не позволяют надежно измерять влажность на поверхности образцов из древесины из-за многочисленных микроповреждений, образующихся при их изготовлении. В данной работе использован новый способ определения поверхностной влажности древесины. Ее величина определяется как равновесная влажность в тонком пограничном слое воздуха, параметры которого измеряются непосредственно над поверхностью древесины. Для измерения температуры и относительной влажности воздуха в микрообъеме у поверхности опытного образца был использован новейший миниатюрный датчик Sensirion SHT20, установленный в специальном приспособлении. Точность и необходимая длительность измерений были определены по результатам измерения влажности трех партий образцов толщиной 1 мм из древесины сосны, березы и дуба, влажность которых была заранее известна. Способ был опробован при проведении исследований кинетики и динамики сушки тонких древесных материалов. Для измерения поверхностной влажности датчик, установленный в специальном приспособлении, с помощью ручного манипулятора прижимался на 3 мин к пласти экспериментального образца через определенные промежутки времени. Полученные в ходе опытных сушек образцов из древесины березы и дуба кривые изменения поверхностной влажности асимптотически приближаются к значению равновесной влажности, что характерно для классического процесса десорбции.

Ключевые слова: сушка древесины, температура, относительная влажность воздуха, поверхностная влажность, равновесная влажность.

В процессе низкотемпературной конвективной сушки древесины внутренний влагоперенос (внутренняя диффузия) происходит, в основном, под действием градиента влажности. Скорость сушки лимитирована коэффициентом влагопроводности, величина которого зависит от многих факторов [1]. Интенсивность удаления влаги с поверхности материала (внешняя диффузия) зависит от условий влагообмена. Для сушки древесины характерными являются граничные условия 3-го рода [2]. В соответствии с ними плотность потока влаги на поверхности равна коэффициенту влагообмена, умноженному на разность между поверхностной и равновесной влажностью. Из этого равенства можно вычислить коэффициент влагообмена, если в процессе проведения экспериментальной сушки определять плотность потока удаляемой с поверхности опытного образца влаги и измерять поверхностную влажность. Если для определения

плотности потока влаги достаточно периодически фиксировать вес опытного образца, то измерение поверхностной влажности связано со значительными трудностями.

Классический весовой способ определения послойной влажности имеет сравнительно невысокую разрешающую способность [3, 4, 5]. С его помощью измерить с удовлетворительной точностью влажность древесины непосредственно на поверхности опытного образца не представляется возможным. Ряд исследователей для определения локальной влажности использовали косвенные методы, в которых применяется компьютерная томография, рентгеноскопия [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13], а также спектроскопия в инфракрасном диапазоне [14].

Однако даже столь современные методы, обеспечивающие высокое разрешение, не позволяют надежно измерять поверхностную влажность. Причиной этого является наличие

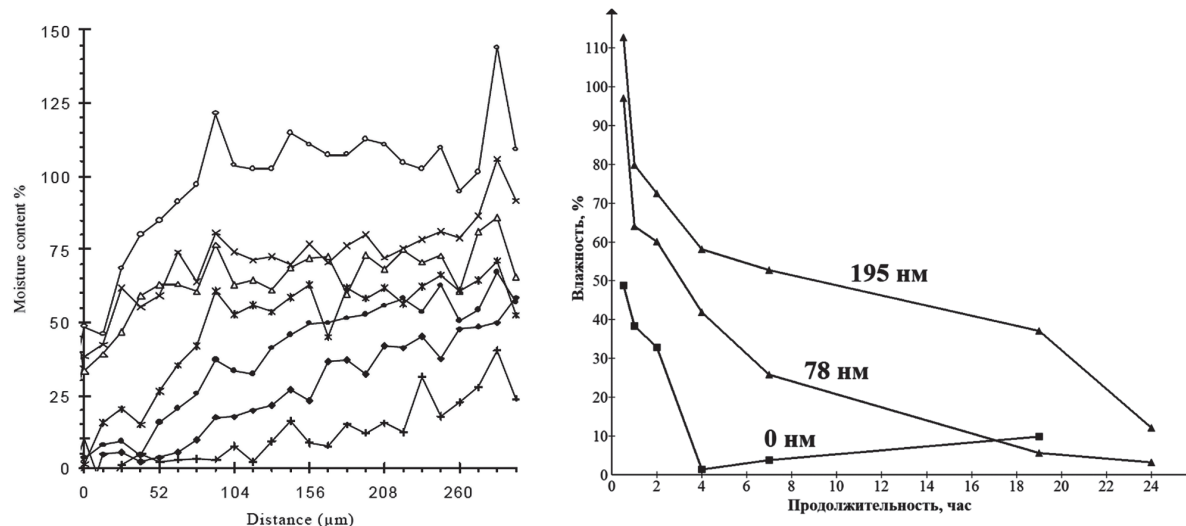


Рис. 1. Распределения влажности по толщине соснового образца в процессе сушки при температуре 43–46 °С и относительной влажности 16–18 % (слева) и кривые изменения влажности на различной глубине (справа)
 Fig. 1. The distributions of moisture through the thickness of a pine sample during drying it at a temperature of 43–46 °С and 16–18 % relative humidity (on the left) and the curves of the moisture changes at various depths (on the right)

многочисленных микроповреждений поверхности исследуемых образцов древесины, которые неизбежно появляются при их изготовлении [15].

Поверхностный слой любого образца из древесины состоит из целых и поврежденных в различной степени клеток, что даже при небольшом увеличении хорошо видно на продольных срезах. В полостях целых клеток сырой древесины может находиться какое-то количество свободной воды. При использовании метода рентгеноскопии локальная влажность древесины количественно оценивается по степени ослабления проходящего через нее рентгеновского луча. В ходе экспериментальной сушки наружные клетки постепенно высыхают и соответственно деформируются, причем, как правило, неравномерно. В результате тонкий поверхностный слой высыхая, изменяет свою структуру, что негативно отражается на точности измерения его влажности.

Это явление наглядно иллюстрируют экспериментальные данные, полученные в работе [7]. В левой части рис. 1 представлены распределения влажности в тонкой поверхностной зоне соснового образца в процессе его сушки, а справа изображены построенные по этим данным кривые изменения локальной влажности во времени в трех зонах. Очевидно, что зафиксированный рост повер-

хностной влажности при сушке в очень сухом воздухе можно объяснить только чрезмерной погрешностью ее измерения.

В данной работе использован новый способ определения поверхностной влажности древесины. Ее величина определяется как равновесная влажность в тонком пограничном слое воздуха, параметры которого измеряются непосредственно над поверхностью древесины. Для измерения температуры и относительной влажности воздуха в микрообъеме у поверхности опытного образца был использован новейший миниатюрный датчик Sensirion SHT20, который крепился в специальном приспособлении (рис. 1). С помощью второго такого же датчика измерялись параметры окружающего воздуха.

Датчик Sensirion SHT20 имеет экстремально малые размеры, равные 3×3×1,1 мм. При таких размерах датчика рабочий объем воздуха над поверхностью древесины, параметры которого измеряются, составляет лишь 2–3 мм³. Благодаря этому в процессе измерения с поверхности древесины, находящейся под датчиком, в рабочий объем воздуха попадает лишь незначительное количество водяного пара и влажность поверхностного слоя почти не изменяется.

Датчик позволяет измерять относительную влажность воздуха в диапазоне от

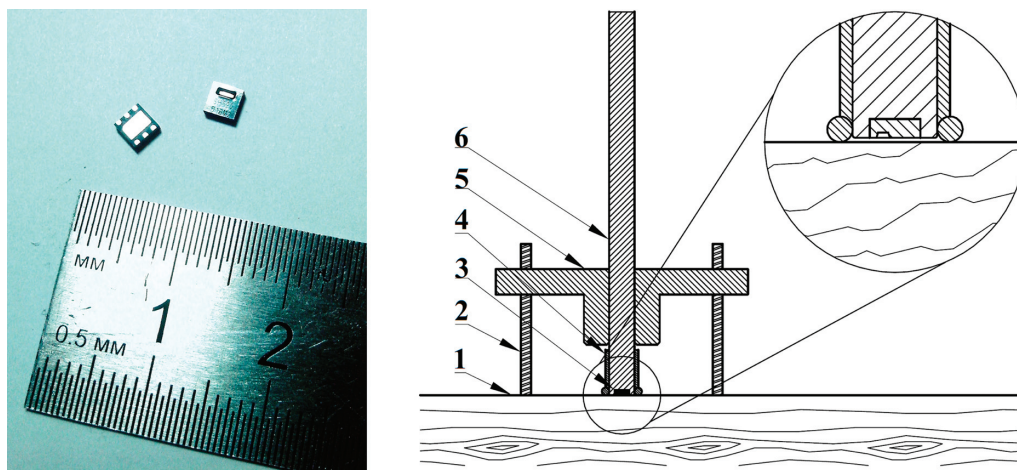


Рис. 2. Внешний вид датчика Sensirion SHT20 (слева) и его расположение в приспособлении для измерения поверхностной влажности (справа): 1.Образец. 2.Регулировочный винт. 3. Датчик SHT20. 4.Резиновый кожух. 5.Пластиковый корпус. 6. Держатель

Fig. 2. The appearance of Sensirion SHT20 sensor (on the left) and its location in the device for measurement of surface moisture (on the right): 1.A sample. 2.A levelling screw. 3. A SHT20 sensor. 4. A rubber cover. 5. A plastic casing. 6. A holder

0 % до 100 % в широком температурном диапазоне ($-40 - 125^{\circ}\text{C}$). Отличительной особенностью датчика является наличие встроенного аналого-цифрового преобразователя, что обеспечивает высокую скорость отклика (8 сек), а, следовательно, и скорость измерения (рис. 2). Абсолютная погрешность датчика в основной части рабочего диапазона $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ по температуре и $\pm 3,0\%$ по относительной влажности, а на краях диапазона может достигать до $\pm 1,55^{\circ}\text{C}$ по температуре и $\pm 4,5\%$ по относительной влажности [16].

Для измерения относительной влажности и температуры воздуха непосредственно над поверхностью древесины в процессе сушки было изготовлено устройство, конструкция которого приведена на рис. 2. Датчик установлен в полости на конце держателя диаметром 8 мм, закрепленного в пластиковом корпусе. Регулировочные винты на пластиковом корпусе позволяют устанавливать датчик на расстоянии 0,2–0,3 мм от поверхности опытного образца. Резиновый кожух вокруг датчика препятствует попаданию окружающего воздуха в рабочую зону.

Для оценки точности определения поверхностной влажности по измеряемым с помощью датчика Sensirion SHT20 значениям температуры и влажности была проведена серия экспериментов. В соответствии с тре-

бованиями ГОСТ 29244-91 [17] было подготовлено три эксикатора с водным раствором глицерина. Концентрация глицерина в растворах в первом, втором и третьем эксикаторах была равной 52 %, 69 % и 87,5 %. При таких концентрациях в эксикаторах создавалась среда, обеспечивающая равновесную влажность равную 16 %, 12 % и 8 % соответственно. Для выравнивания температуры и относительной влажности воздуха в эксикаторах были установлены вентиляторы, приводимые во вращение со скоростью 76 об./мин двигателями со встроенными редукторами РД-09.

Для выдержки в эксикаторах были подготовлены образцы из древесины сосны, березы и дуба размерами $50 \times 50 \times 1$ мм. Кромки и торцы образцов влагоизолировались с помощью силиконового герметика. В каждый эксикатор закладывалось по два образца каждой породы. Контроль за изменением влажности образцов осуществлялся путем их периодического взвешивания на электронных весах с точностью до 0,001 г. Выдержка образцов в эксикаторе заканчивалась, когда суточное изменение массы каждого из них становилось менее 0,01 г.

После стабилизации массы каждый образец извлекался из эксикатора для измерения поверхностной влажности с помощью датчика. Измерения проводились при комнатной температуре. Каждый образец укладывался на

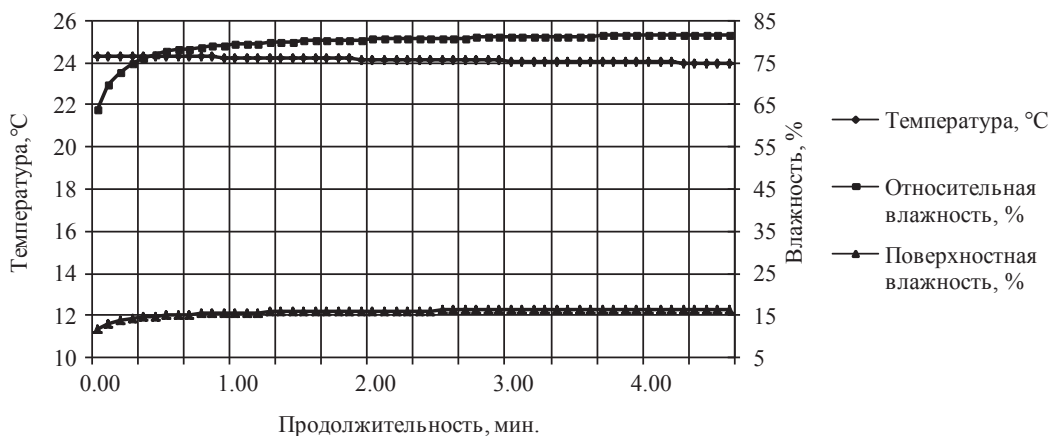


Рис. 3. Изменения температуры и относительной влажности воздуха над поверхностью березового образца, а также поверхностной влажности в процессе их измерения

Fig. 3. Changes in the temperature and the relative humidity above the birch sample surface and those in the surface humidity in the process of measuring them

ровную поверхность и на него устанавливался датчик, как показано на рис. 2. Замер продолжался до момента установления постоянной относительной влажности воздуха в поверхностной зоне образца (рис. 3). Оказалось, что для достижения постоянной влажности воздуха при комнатной температуре достаточно 3–4 мин. С ростом температуры это время сокращается. По окончании замера влажность каждого образца уточнялась весовым способом.

Уточненная средняя влажность образцов в первом эксикаторе составила 16,3 %, во втором – 12,08 %, а в третьем – 8,29 %. Поверхностная влажность образцов определялась по общепринятой диаграмме равновесной влажности для измеренных датчиком Sensirion SHT20 значений температуры и относительной влажности [3]. Средняя расчетная поверхностная влажность для них составила 14,8 %, 10,82 % и 7,56 %, а погрешность измерения – 1,5 %, 1,26 % и 0,73 % соответственно. Ошибка при определении поверхностной влажности может быть связана с небольшой подсушкой поверхностных зон образцов при подготовке и проведении измерений.

Предложенный метод определения поверхностной влажности был опробован при проведении исследований кинетики и динамики сушки тонких древесных материалов. Опытные сушки проводилась в лабораторной сушильной камере, оснащенной системой автоматического регулирования параметров сушильного агента и устройством для периодического взвешивания

образцов в ходе эксперимента. Для измерения поверхностной влажности датчик, установленный в описанном приспособлении, с помощью ручного манипулятора прижимался на 3 мин к пласти экспериментального образца. На время измерения вентилятор камеры выключался. На рис. 4 показаны результаты измерения температуры и относительной влажности воздуха в рабочем объеме датчика, а также расчетные значения поверхностной влажности при сушке березового образца размерами 8×60×400 мм. Первый замер был проведен сразу же после прогрева образца. Как видно из графика, после прижатия датчика к образцу начиналось интенсивное увлажнение воздуха в его рабочем объеме. Поверхностная влажность рассчитывалась по максимальному значению относительной влажности и соответствующей ему температуре воздуха под датчиком. После этого приспособление отводилось в сторону. После включения вентилятора состояние воздуха в камере быстро восстанавливалось, что иллюстрируют показания датчика. При каждом последующем замере датчик регистрировал все более низкую относительную влажность воздуха в рабочем объеме, что, очевидно, обусловлено постепенным снижением поверхностной влажности древесины.

Сушка в аналогичных условиях дубового образца тех же размеров проходила медленнее (рис. 5). В этом эксперименте поверхностная влажность определялась по двум последовательным замерам состояния воздуха под дат-

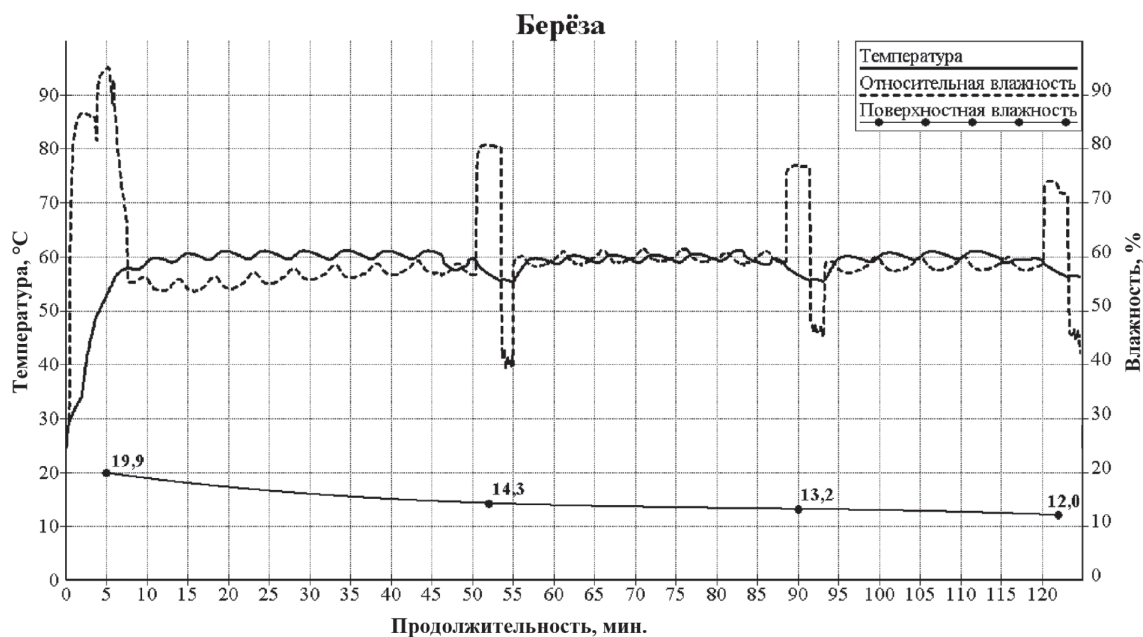


Рис. 4. Изменения температуры, относительной влажности воздуха и расчетной поверхностной влажности в процессе сушки березового образца

Fig. 4. Changes in the temperature, in the relative air humidity and in the calculated surface moisture during drying a birch sample

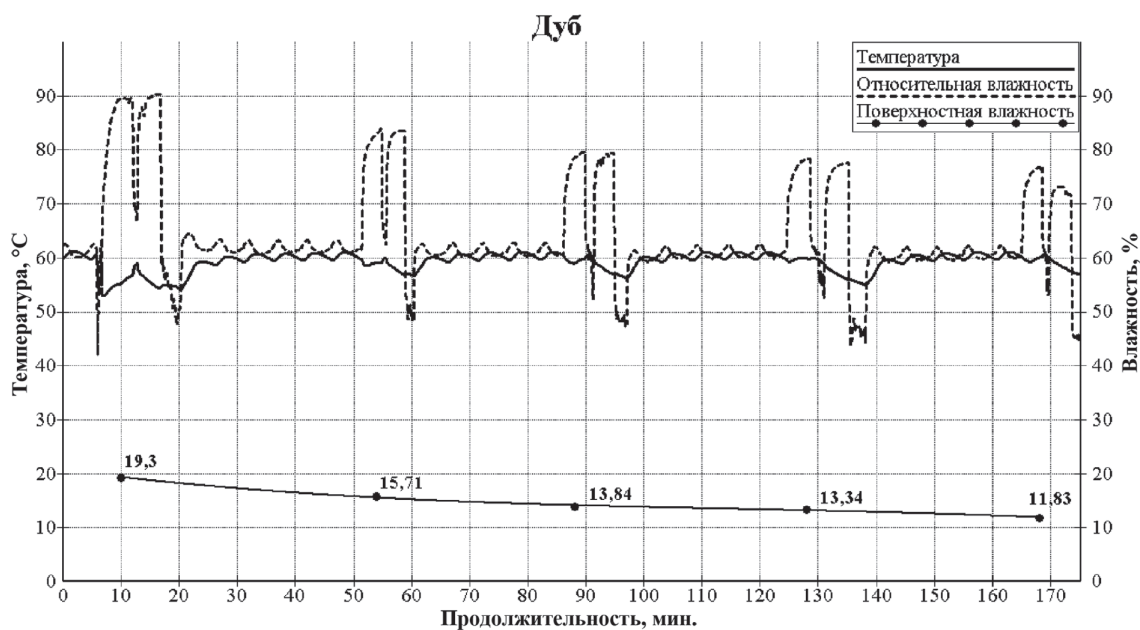


Рис. 5. Изменения температуры, относительной влажности воздуха и расчетной поверхностной влажности в процессе сушки дубового образца

Fig. 5. Changes in the temperature, the relative air humidity and in the calculated surface moisture during drying an oak specimen

чиком. Как и в предыдущем опыте, полученная кривая изменения поверхностной влажности асимптотически приближается к значению равновесной влажности, равной 9,2 %, что характерно для классического процесса десорбции.

Полученные результаты позволяют заключить, что разработанный способ может

использоваться для измерения поверхностной влажности древесины с удовлетворительной точностью непосредственно в ходе процесса сушки. В дальнейшем планируется усовершенствовать предложенную методику и использовать ее при исследовании кинетики и динамики процессов конвективной суш-

ки древесины, а также для определения коэффициентов влагообмена.

Библиографический список/References

- Skuratov N., Sapozhnikov I., Alexeeva I., Mamontov M., Matveeva K., Samoilenko D. Measurements during wood drying based on x-ray and slicing techniques and computation of diffusion coefficients//Pro Ligno. 2015. V. 11. No. 4. pp. 383-388.
- Лыков, А.В. Кинетика и динамика процессов сушки и увлажнения / А.В. Лыков. – Гизлегпром, 1938. – 592 с. Lykov A.V. *Kinetika i dinamika processov sushki i uvlazhneniya* [Kinetics and dynamics of wetting and drying processes]. Gizlegprom, 1938. 592 p.
- Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1985 – 143 с. *Rukovodyashhie tehicheskie materialy po tehnologii kamernoy sushki drevesiny* [Guiding technical materials on the technology kiln drying of wood]. Arhangel'sk: CNIIMOD, 1985, 143 p.
- Davis J. R., Ilic J., Wells P. Moisture content in drying wood using direct scanning gamma-ray densitometry //Wood and fiber science. 1993. V. 25. No. 2. pp. 153-162.
- Parun M., Milić G., Kolin B. Moisture content profiles and stresses in beech timber during conventional drying. First serbian forestry congress under slogan: "Future with forests". Belgrade, Serbia, Belgrade University, Faculty of Forestry, 11-13 November, 2010. pp. 1394-1403.
- Wiberg P., Morén T. J. Moisture flux determination in wood during drying above fibre saturation point using CT-scanning and digital image processing. European Journal of Wood and Wood Products. 1999. V. 57. No. 2. pp. 137-144.
- Rosenkilde A. Moisture content profiles and surface phenomena during drying of wood. Swedish Institute for Wood Technology Research, 2002. 36 p.
- Baettig R., Rémond R., Perré P. Measuring moisture content profiles in a board during drying: a polychromatic X-ray system interfaced with a vacuum/pressure laboratory kiln. Wood Science and Technology. 2006. V. 40. No. 4. pp. 261-274.
- Alkan S., Zhang Y., Lam F. Moisture distribution changes and wetwood behavior in subalpine fir wood during drying by using high X-ray energy industrial CT scanner. Drying technology. 2007. V. 25. No. 3. pp. 483-488.
- Watanabe K., Saito, Y., Avramidis, S., Shida, S. Non-destructive measurement of moisture distribution in wood during drying using digital X-ray microscopy. Drying technology. 2008. V. 26. No. 5. pp. 590-595.
- Freyburger C., Longuetaud, F., Mothe, F., Constant, T., Leban, J. Measuring wood density by means of X-ray computer tomography //Annals of forest science. 2009. V. 66. No. 8. pp. 804.
- Cai Z. A new method of determining moisture gradient in wood. Forest Products Journal. 2008. V. 58. No 7/8. pp. 41-45.
- Cherepanova E., Hansson L. Determination of wood moisture properties by using CT-scanner in a controlled environment. 7th meeting of the Nordic-Baltic Network In Wood Material Science & Engineering (WSE). October 27-28, 2011, Oslo, Norway. pp. 137-142.
- Eom C.D., Park J.H., Choi I.G., Han Y., Yeo H. Determining surface emission coefficient of wood by using theoretical methods and near-infrared spectroscopy. Wood and Fiber Science. 2013. V. 45, No.1, pp. 76-83.
- Skuratov N.V. Microstructure of wood surface and external mass transfer. 2009 IAWS Plenary meeting and conference. Forest as a renewable source of vital values for changing world. 15-21 June 2009 Saint-Petersburg – Moscow, Russia.-Spb.: SPbGLTA. 2009. pp. 119.
- http://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity/Sensirion_Humidity_SHT20_Datasheet_V3.
- ГОСТ 29244-91 (ИСО 483-88). Пластмассы. Небольшие контейнеры для кондиционирования и испытания с использованием водных растворов для поддержания постоянного значения относительной влажности. – Введ. 01.01.93. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 10 p. *GOST 29244-91 (ISO 483-88). Plastmassy. Nebol'shie kontejnery dlja kondicionirovaniya i ispytaniya s ispol'zovaniem vodnyh rastvorov dlja podderzhanija postojannogo znachenija otnositel'noj vlazhnosti* [Plastics. Small containers for conditioning and testing using aqueous solutions to maintain a constant relative humidity]. Introduced. 01.01.93. Moscow: IPK Standards Publ. 2004. 10 p. (Interstate standard).

METHOD FOR DETERMINING THE WOOD SURFACE MOISTURE CONTENT

Skuratov N.V., Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; Sapozhnikov I.V., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; Samoilenko D.A., pg. MSFU⁽¹⁾; Alexeeva I.I., pg. MSFU⁽¹⁾

skuratov@mgul.ac.ru, gosha@mgul.ac.ru, samoylenko@mgul.ac.ru, alexeeva@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institut'skaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

The boundary conditions of the 3rd kind are typical of convective wood drying. According to them, the moisture flux density on the surface is equal to surface emission coefficient multiplied by the difference between the surface moisture content and the equilibrium moisture content. The surface emission coefficient can be found from this equality. To determine moisture flow density it is enough to measure regularly the weight of a test sample while the measurement of surface moisture is associated with considerable difficulties. The oven-dry method of determining the local wood moisture content has low resolution. Modern indirect methods using computer tomography, X-ray and infrared spectroscopy provide the sufficiently high resolution. However, they do not allow the reliable measurement of the surface moisture content of wood samples due to the numerous of microdamages formed during their manufacture. The new method of determining the moisture content of wood surface was used in this study. Its value is determined as the equilibrium moisture content in a thin boundary layer of air which parameters are measured directly over the surface of wood. To measure the temperature and the relative air humidity in the micro-volume near the surface of a test sample the newest miniature sensor Sensirion SHT20, mounted in a special device, was used. The accuracy and the necessary duration of measurements were determined by measuring moisture content of three batches of 1 mm thick samples of pine, birch and oak with known moisture content in advance. The method has been tested when researching kinetics and dynamics of drying of thin wood materials. To measure the surface moisture content, the sensor mounted in a special device was pressed against the side surface of the test sample for 3 minutes via certain time intervals using a hand manipulator. The curves of changes in the surface moisture content received during the experimental drying of samples from birch and oak asymptotically approach the equilibrium moisture content that is typical of classical desorption process.

Keywords: wood drying, temperature, relative air humidity, surface moisture content, equilibrium moisture content.

УДК 674.81

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ГРАНУЛИРОВАНИЯ И СОСТАВА ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ НА ИХ ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА

Н.А. СЫЧЕВА, *асп. БГТУ*⁽¹⁾,И.А. ХМЫЗОВ, *доц., БГТУ, канд. техн. наук*⁽¹⁾,Т.В. СОЛОВЬЕВА, *проф., БГТУ, д-р техн. наук*⁽¹⁾*natalka_wow@mail.ru, hmyzov@belstu.by, soloueva@belstu.by*⁽¹⁾ Белорусский государственный технологический университет (БГТУ)
220050 Республика Беларусь, г. Минск, ул. Свердлова, 13-а

В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния режима гранулирования (температуры и давления) на прочностные свойства топливных пеллет, полученных из древесины сосны, ольхи черной, ольхи серой и березы. Проведен сравнительный анализ компонентного состава древесины хвойных и лиственных пород. Сделан предварительный вывод о взаимном усилении влияния на прочность пеллет совместного сочетания древесины хвойных и лиственных пород. В результате реализации симплекс-решетчатого плана Шеффе и решенной на его основе задачи оптимизации установлен оптимальный породный состав древесины для производства пеллет с повышенной прочностью.

Ключевые слова: топливные пеллеты, механическая прочность, температура, давление, древесина хвойных и лиственных пород.

В условиях истощения природных ресурсов и постоянно возрастающих цен на традиционные энергоносители актуальным является решение проблемы поиска альтернативных источников энергии. В связи с этим в настоящее время большое внимание уделяется разработке технологий производства биотоплива на основе отходов древесины. Особый интерес к использованию древесной биомассы возрастает и вследствие ее высокой экологичности. Древесное топливо практически не содержит серы и имеет высокую реакционную способность, поэтому в дымовых газах при его сжигании не содержится сернистого и серного газа, а содержание оксида углерода при рационально сконструированных топочных устройствах минимально [1]. Повышенным спросом среди различных видов древесного топлива пользуются пеллеты (гранулы), потребительские свойства которых обладают высокой конкурентоспособностью по сравнению с другими видами топлива.

Древесные пеллеты – это изделия цилиндрической формы, спрессованные методом экструзии из высушенного, предварительно измельченного древесного сырья. Преимуществом использования прессованного биотоплива в виде пеллет является их большая теплотворная способность по сравнению со щепой и кусковыми отходами дре-

весины. Цены на древесные пеллеты значительно ниже цен на другие традиционные виды топлива, при сопоставимых потребительских свойствах.

Востребованность пеллет в больших объемах, особенно на внешнем рынке, привела к необходимости анализа сырьевой базы для увеличения объемов их производства.

Республика Беларусь обладает значительными лесными ресурсами – 804,4 тыс. га. Удельный вес хвойных пород в общем запасе древесины составляет 69 %, при этом основной лесообразующей породой лесов Беларуси является сосна. Она занимает 56 % покрытой лесами площади. Значительную часть площади лесного фонда занимают мягколиственные породы. Их доля в общей лесопокрытой площади – 31 %. Распределение общего запаса насаждений по группам основных пород и площади лесных насаждений по основным лесообразующим породам представлено на рис. 1 [2].

В результате широкого использования древесины сосны в деревообрабатывающей промышленности образуются отходы, которые полностью перерабатываются, в том числе и в топливные пеллеты. Однако, учитывая высокий спрос на пеллеты, возникает проблема дефицита сырья для их производства в условиях сокращения ресурсов древесины

Теплотворная способность древесины [3]
The calorific value of wood [3]

Порода древесины	Теплотворная способность, МДж/кг	
	Ствол	Целое дерево
Сосна обыкновенная (<i>Pinus Sylvestris</i>)	19,31	19,52
Ольха черная (<i>Alnus glutinosa</i>)	18,89	19,31
Ольха серая (<i>Alnus incana</i>)	18,67	19,18
Береза (<i>Betula pendula</i>)	18,61	19,29

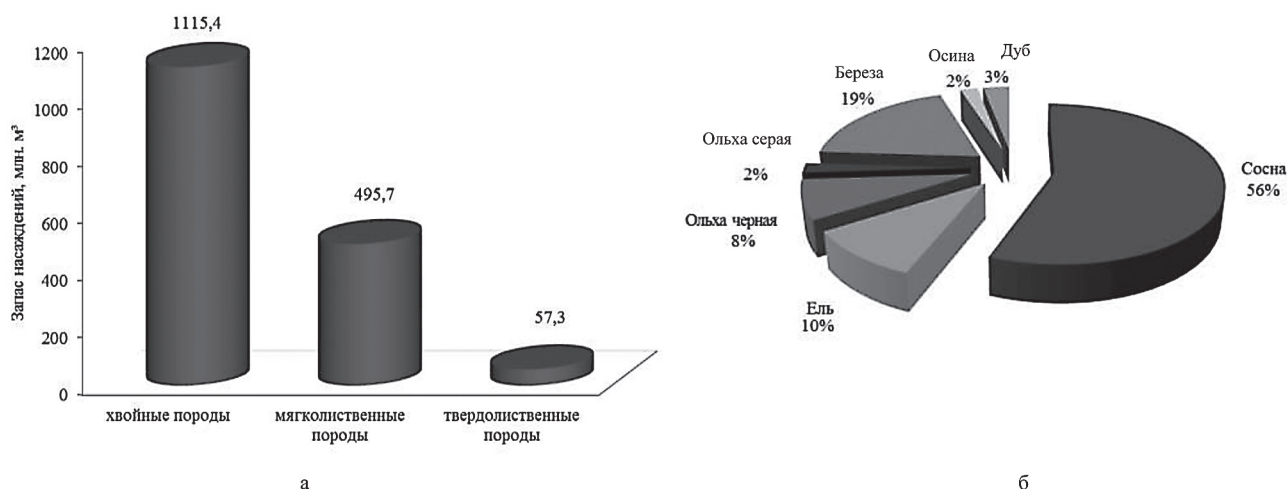


Рис. 1. Распределение общего запаса насаждений по группам основных пород (а) и площади лесных насаждений по основным лесообразующим породам (б)

Fig. 1. The distribution of the total stock of forests by groups of basic species (a) and the area of forest plantations for the main forest-forming species (b)

сосны и ее дорогизны. Это вызывает необходимость проведения работ в расширении сырьевой базы для производства топливных пеллет за счет использования малоценных насаждений мягколиственных пород древесины, таких как береза, ольха черная и ольха серая, которые являются быстрорастущими деревьями, но в значительной части все еще не находят удовлетворительного практического применения. Исходя из данных о теплотворной способности этих пород древесины, представленных в табл. 1, можно говорить об их высокой энергетической ценности, что предопределяет необходимость их эффективного использования в производстве топливных пеллет.

Качество топливных пеллет зависит от многих факторов, среди которых можно выделить следующие: влажность, зольность, породный и фракционный состав исходного древесного сырья, технологические факторы получения пеллет [3]. Одним из важных

показателей качества пеллет является их механическая прочность, так как при хранении и транспортировке пеллет нижние слои испытывают высокое давление и крошатся, образуя пылевидную фракцию, что приводит к ухудшению внешнего вида пеллет и их свойств как топлива – снижению энергоэффективности. Поэтому в настоящих исследованиях основное внимание было направлено на установление влияния технологических факторов производства и состава композиции пеллет на их прочностные свойства. Наиболее информативными показателями, характеризующими прочностные свойства пеллет, являются предел прочности при сжатии и устойчивость к вибрации.

В лабораторных условиях кафедры химической переработки древесины БГТУ получали образцы топливных пеллет из древесины березы, ольхи черной и серой. Образцы сравнения изготавливали из традиционно используемой древесины сосны.

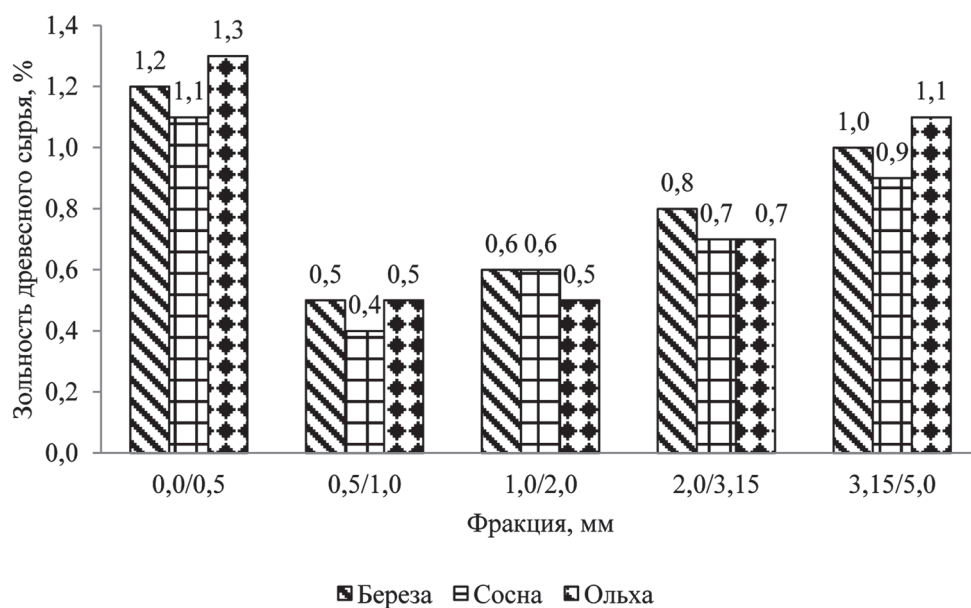


Рис. 2. Влияние фракционного состава сырья на зольность pellets
 Fig. 2. The influence of the fractional composition of raw materials on the ash content of pellets

Перед составлением композиции pellets измельченные древесные частицы фракционировали и определяли зольность каждой фракции с целью установления кондиционной фракции исходного сырья. Результаты влияния различных фракций измельченных древесных частиц сосны, ольхи и березы на зольность pellets представлены на рис. 2.

Из диаграммы на рис. 2 видно, что самую высокую зольность древесных частиц – 1,2 % у березы, 1,1 % у сосны и 1,3 % у ольхи – имеют pellets, полученные из фракции 0,0/0,5. Наименьшую зольность – 0,5 % у березы, 0,4 % у сосны и 0,5 % у ольхи – имеют pellets, полученные из фракции 0,5/1,0. Это можно объяснить различным содержанием высокозольных частиц в указанных фракциях в зависимости от состояния ножей, режима переработки и свойств древесного сырья. Установили, что кондиционными являются фракции 0,5/1,0 и 1,0/2,0, свободные от мелкодисперсных частиц, которые являются высокозольными.

При получении pellets технологические параметры исходного древесного сырья поддерживали в следующих диапазонах значений: влажность – от 8 до 11 %, зольность – от 0,5 до 0,6 %; размер древесных частиц – от 0,5 до 2,0 мм.

Как известно, на механическую прочность pellets значительное влияние оказывают давление и температура прессования. Графические зависимости влияния этих параметров процесса на механическую прочность топливных pellets, полученных из древесины сосны, березы, ольхи черной и серой, представлены на рис. 3 и 4.

Из рис. 3 видно, что для древесины сосны, ольхи и березы повышение температуры прессования от 100 до 125°C приводит к существенному увеличению прочности. В этом интервале температур происходит пластифицирование высокорекреакционных компонентов древесины, таких как лигнин и гемицеллюлозы, которые приобретают свойства связующего, обеспечивающего адгезию древесных частиц друг к другу. Дальнейшее повышение температуры прессования нецелесообразно, т.к. значения предела прочности при сжатии практически не изменяются, а далее при достижении 130°C наблюдается некоторое их снижение для всех исследуемых пород древесины, вероятно, под действием начинающихся деструктивных процессов.

Для получения pellets высокого качества необходимо обеспечить достаточное уплотнение древесных частиц, из которых они состоят. Это обеспечивается давлением, со-

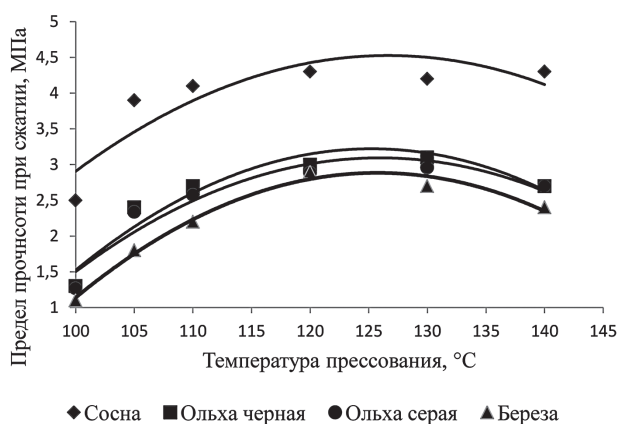


Рис. 3. Влияние температуры прессования на предел прочности при сжатии pellets

Fig. 3. The influence of pressing temperature on the compressive strength of pellets

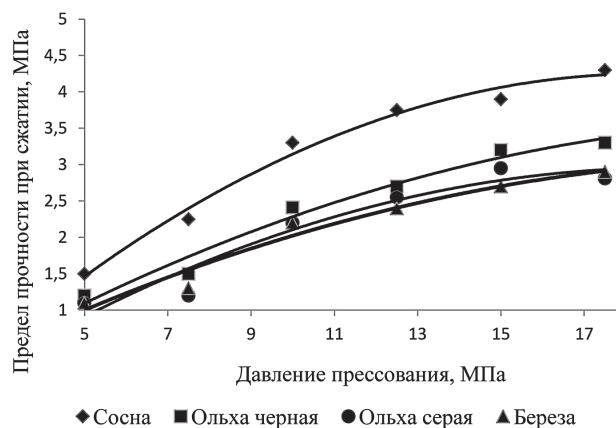


Рис. 4. Влияние давления прессования на предел прочности при сжатии pellets

Fig. 4. The influence of pressing on the compressive strength of pellets

здаваемым прессующими вальцами в пресс-грануляторе.

Как видно из полученных данных, увеличение давления прессования от 5 до 15 МПа закономерно приводит к увеличению прочности при сжатии pellets от 1,1 до 4,3 МПа. Это является следствием снижения пористости материала, сопровождающегося увеличением удельной поверхности контактов между частицами древесного наполнителя. Увеличение давления свыше 13 МПа для сосны и 15 МПа для ольхи и березы нецелесообразно, так как прирост прочности становится сравнительно незначительным.

Проведенные исследования по установлению влияния температуры и давления

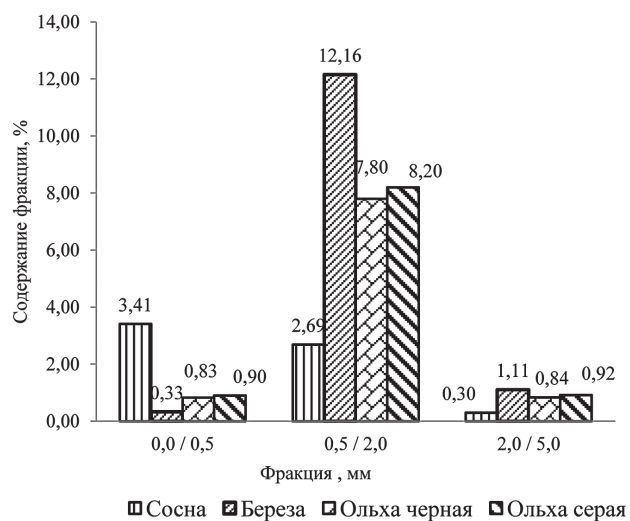


Рис. 5. Устойчивость pellets к вибрации

Fig. 5. The vibration resistance of pellets

прессования pellets на их прочность имеют идентичный характер для древесины сосны, ольхи и березы. Это предопределяет интерес к комбинированию древесины различных пород при производстве pellets. Перед проведением исследований в данном направлении была установлена устойчивость pellets, полученных из этих древесных пород, к вибрации. Этот прием позволил смоделировать процесс транспортировки pellets на дальние расстояния.

Исследования влияния вибрации на устойчивость pellets к истиранию проводили с использованием специальной просеивающей машины (HAVER EML 200 digital plus), которая представляет собой комплект сит с размерами ячеек 5 мм, 3 мм, 2 мм, 1 мм, 0,5 мм, 0,25 мм, закрепленных на вибрационном корпусе. Просеивающая машина оснащена автоматической системой управления амплитудой и продолжительностью вибрационного воздействия, что позволило регулировать режимные параметры. На верхнее сито загружали навеску pellets и подвергали их вибрации с амплитудой 3 мм продолжительностью 7 мин. По истечении времени воздействия вибрации взвешивали оставшиеся части pellets на каждом из сит и определяли долю фракций. Результаты исследований представлены на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что наиболее устойчивы к вибрации pellets, полученные из древесины сосны, доля пылевидной фрак-

**Влияние соотношения пород древесины в композиции
на предел прочности при сжатии пеллет**
The influence of wood species ratio in the composition on the compressive strength of pellets

№ опыта	Соотношение пород древесины в композиции пеллет, %			Предел прочности при сжатии пеллет, МПа
	Сосна	Береза	Ольха	
1	100	0	0	4,30
2	0	100	0	2,90
3	0	0	100	3,20
4	50	50	0	2,70
5	50	0	50	4,02
6	0	50	50	3,40
7	75	25	0	2,90
8	25	75	0	1,90
9	75	0	25	4,07
10	25	0	75	4,00
11	0	75	25	1,74
12	0	25	75	3,80
13	50	25	25	3,57
14	25	50	25	3,55
15	25	25	50	4,26

ции составила 6,4 %. При этом для пеллет, полученных из березы, ольхи черной и ольхи серой – 13,6, 9,5 и 10,0 % соответственно. Пеллеты из лиственных пород древесины несколько уступают по виброустойчивости пеллетам, полученным из сосны, вероятно в силу различий химического состава и анатомического строения хвойных и лиственных пород древесины.

Поэтому особый интерес представляет анализ влияния химического состава по основным компонентам древесины на механическую прочность пеллет.

Химический состав лиственной и хвойной древесины различается по содержанию и свойствам этих основных компонентов. В древесине хвойных пород лигнин в среднем содержится от 27 до 33 %, в древесине же лиственных пород меньше – от 17 до 26 % [4, 5]. Он расположен в межклеточном пространстве древесины, поэтому участвует в межволоконных взаимодействиях, необходимых для связывания древесных волокон. Этот процесс протекает и при образовании пеллет. Лиственный лигнин по строению элементарных звеньев и степени полимеризации отличается от хвойного. Вследствие значительной

доли синригилпропановых единиц лигнин древесины лиственных пород имеет разветвленную структуру и практически не проявляет способности к реакциям поликонденсации в условиях гранулирования пеллет [6]. В то же время для гемицеллюлоз лиственных пород характерна низкотемпературная деструкция с образованием новых функциональных групп (гидроксильных и карбонильных) [7], роль которых при образовании пеллет весьма вероятна. Благодаря присутствию в лиственной древесине большего количества гемицеллюлоз по сравнению с хвойными породами (25–35 % и 17–22 % соответственно [8]) в температурном диапазоне 120–130°C они приобретают свойства связующего, обеспечивающего адгезионное взаимодействие древесных частиц с приданием пеллетам формоустойчивости.

Исходя из различий в химическом строении древесины лиственных и хвойных пород можно было ожидать взаимного усиления влияния на прочность пеллет при совместном их сочетании. Это нашло экспериментальное подтверждение в выполненных нами исследованиях, которые позволили установить оптимальный композиционный

Показатели качества топливных пеллет
Quality indicators of fuel pellet

Наименование показателя	Образцы пеллет, полученные из индивидуальных пород древесины			Оптимальный породный состав пеллет, состоящий из древесины сосны 35 %, березы 23 %, ольхи 42 %
	сосны	березы	ольхи	
Влажность, %	7,9	7,5	6,8	6,3
Зольность, %	0,50	0,52	0,54	0,50
Плотность, кг/м ³	1170	1130	1155	1220
Предел прочности при сжатии, МПа	4,3	2,9	3,2	4,3
Теплотворная способность, МДж/кг	18,4	18,5	17,5	18,4

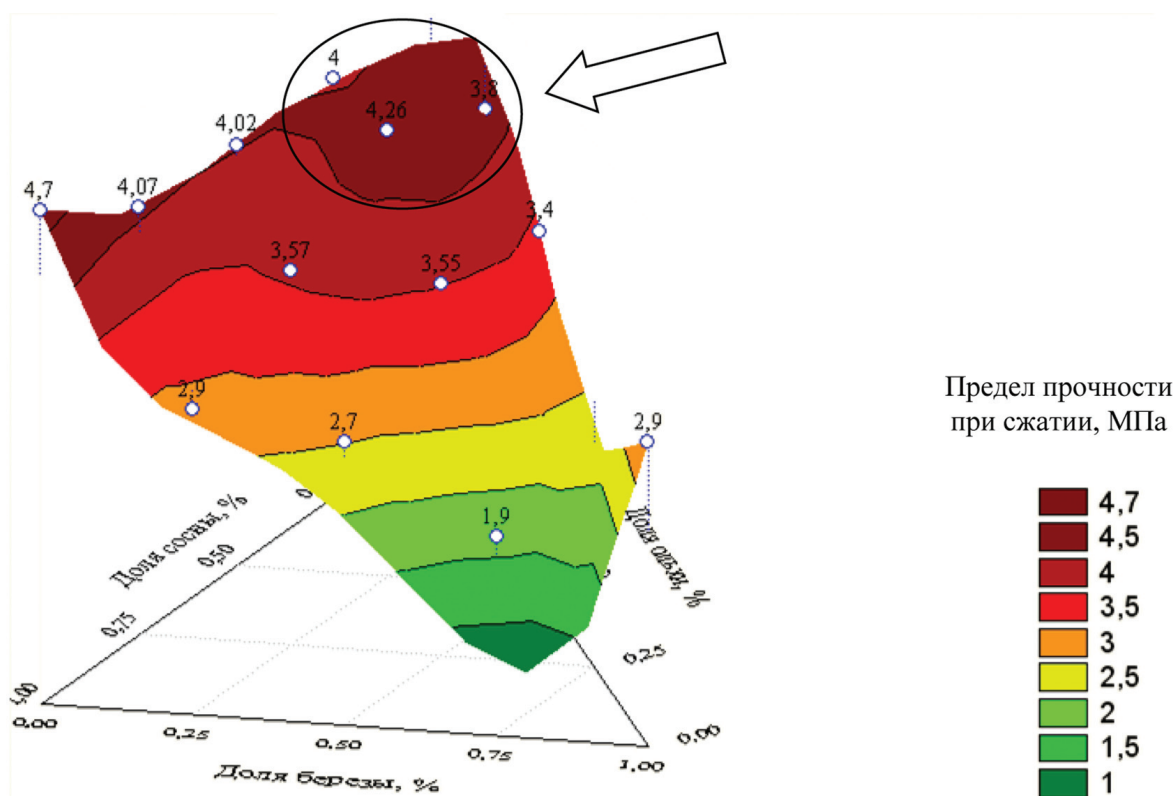


Рис. 6. Зависимость предела прочности при сжатии пеллет от их породного состава
Fig. 6. Dependence of pellets compressive strength on their species composition

состав пеллет из древесины сосны, ольхи и березы. Был реализован симплекс-решетчатый план Шеффе 4-го порядка для трех компонентов [9, 10]. Массовую долю сосны, березы и ольхи в композиции пеллет варьировали от 0 до 100 % (или в долях – от 0 до 1). Результаты исследований приведены в табл. 2.

На основании результатов исследований с применением программы STATISTICA

было получено адекватное уравнение регрессии, характеризующее степень влияния каждой породы древесины и их попарного сочетания на показатель предела прочности при сжатии пеллет.

С использованием полученного уравнения регрессии была построена поверхность отклика, которая представлена на рис. 6. Точки, расположенные в вершинах факторного пространства, соответствуют значениям

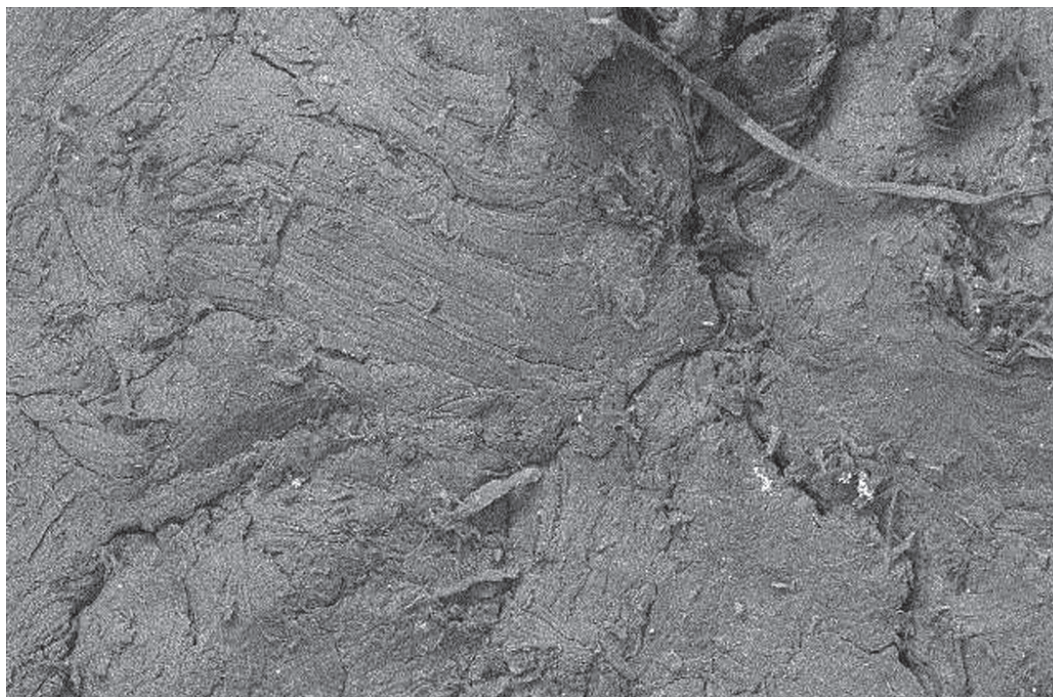


Рис. 7. Электронно-микроскопическая фотография поверхности pellets, полученных с использованием установленного оптимального породного состава

Fig. 7. An electron microscopic photograph of the surface of pellets produced by using the optimum species composition

предела прочности при сжатии pellets, полученных только из древесины сосны, ольхи или березы; точки, расположенные на гранях, отражают значение прочности pellets из попарно сочетаемых пород древесины, а внутри находятся точки, характеризующие прочность pellets, содержащих все три породы древесины.

Из рис. 4 видно, что наиболее высокие значения показателя предела прочности при сжатии pellets 4,0–4,5 МПа достигаются при содержании в диапазонах композиции pellets: древесины сосны 15–35 %, березы 20–40 % и ольхи от 30–65 %.

В результате решения поставленной задачи оптимизации установили, что оптимальным породным составом для производства pellets является следующее содержание компонентов: сосны – 35 %, березы – 23 % и ольхи – 42 %. Показатели качества pellets, полученных с использованием оптимального соотношения компонентов породного состава сырья в сравнении с индивидуальными породами древесины сосны, ольхи и березы, представлены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что pellets, полученные с использованием оптимального породного состава, превосходят по прочности и плотности pellets из древесины ольхи и березы и соответствуют качеству pellets, полученных из древесины сосны (при сопоставимых значениях влажности и зольности). Результаты исследований позволяют подтвердить наличие взаимного усиления влияния исследуемых пород древесины на качество pellets, т.е. наличие эффекта синергизма.

Электронно-микроскопическая фотография структуры поверхности pellets с использованием установленного оптимального породного состава, полученная на электронном микроскопе JSM 5610 LV (Япония) при увеличении в 50 раз, представлена на рис. 7.

Из приведенного изображения видно, что pellets, полученные с использованием установленного оптимального породного состава, имеют довольно плотную упаковку древесных частиц, что и предопределяет повышение их прочности до значений, сопоста-

вимых с пеллетами, полученными из древесины сосны.

На основании проведенных исследований можно сделать заключение о целесообразности комбинирования древесины хвойных и лиственных пород при производстве пеллет с достижением их высоких прочностных свойств.

Библиографический список

1. Головков, С.И. Энергетическое использование древесных отходов / С.И. Головков, И.Ф. Коперин, В. И. Найденов. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 224 с.
2. Вавилов, А.В. Пеллеты в Беларуси: производство и получение энергии: монография / А.В. Вавилов. – Минск: Стринко, 2012. – 147 с.
3. Назаров, В.И. Особенности разработки процесса прессового гранулирования биотоплива на основе древесных и растительных отходов / И.А. Булатов, Д.А. Макаренко // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2009. – №2. – С. 35–39.
4. Атрохин, В.Г. Древесные породы мира: в 3 т. / В.Г. Атрохин, К.К. Калущкий, Ф.Т. Тюриков. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – Т 3. – 264 с.
5. Азаров, В.И. Химия древесины и синтетических полимеров: учеб. пособие / В.И. Азаров, А.В. Буров, А.В. Оболенская. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 628 с.
6. Соловьева, Т.В. Превращение компонентов лигноуглеводной матрицы в технологии древесноволокнистых плит: дис...д-ра. техн. наук / Т.В. Соловьева. – Минск, 1998 – 259 с.
7. Скриган, А.И. Процессы превращения древесины и ее химическая переработка / А.И. Скриган. – Минск: Наука и техника, 1981. – 206 с.
8. Никитин, Н.И. Химия древесины и целлюлозы / Н.И. Никитин. – М.-Л.: Издательство Академии наук СССР, 1962. – 711 с.
9. Пен, Р.З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства / Р.З. Пен. – Красноярск: Красноярский гос. ун-т, 1982. – 192 с.
10. Колесников, В.Л. Компьютерное моделирование и оптимизация химико-технологических систем: учеб. пособие для химико-технологических специальностей вузов / В.Л. Колесников, И.М. Жарский, П.П. Урбанович. – Минск: БГТУ, 2004. – 533 с.

THE INFLUENCE OF GRANULATION AND PELLETS COMPOSITION ON THEIR STRENGTH PROPERTIES

Sychova N.A., pg. BGTU ⁽¹⁾; Hmyzov I.A., Assoc. Prof. BGTU, Ph.D. (Tech)⁽¹⁾; Soloueva T.V., Prof. BGTU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾

natalka_wow@mail.ru, hmyzov@belstu.by, soloueva@belstu.by

⁽¹⁾Belarusian State Technological University (BGTU), 220050 Republic of Belarus, Minsk, st. Sverdlov, 13a

The paper presents the results of experimental research concerning the influence of granulation (temperature and pressure) on the strength properties of pellets from pine, black alder, gray alder and birch. A comparative analysis of the structure of softwood and hardwood has been completed. A preliminary conclusion concerning the enhancement of mutual influence of softwood and hardwood combination on the strength of pellets was made. As a result of the simplex lattice plan by Scheffe and the solutions based on it, the problem of optimizing the species composition to obtain the optimal wood species combination for the production of pellets with high strength has been settled.

Keywords: fuel pellets, mechanical strength, temperature, pressure, softwood and hardwood.

References

1. Golovkov S.I., Koperin I.F., Naydenov V.I. *Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnykh otkhodov* [Energy use of wood waste] Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1987, 224 p.
2. Vavilov A.V. *Pellety v Belarusi: proizvodstvo i poluchenie energii* [Pellets in Belarus: the production and reception of energy]: monografiya, Minsk: Strinko, 2012, 147 p.
3. Nazarov V.I. *Osobennosti razrabotki protsessa pressovogo granulirovaniya biotopliva na osnove drevesnykh i rastitel'nykh otkhodov* [Features of the development of press granulation process of biofuels based on wood and plant waste] *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie* [Chemical and Petroleum Engineering], 2009. no 2, pp. 35–39.
4. Atrokhin V.G., Kalutskiy K.K., Tyurikov F.T. *Drevesnye porody mira* [Timbers world] Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1982, T 3: *Drevesnye porody SSSR* [Timbers USSR], 264 p.
5. Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Wood chemistry and synthetic polymers]. SPb.: SPbLTA, 1999, 628 p.
6. Solov'eva T.V. *Prevrashchenie componentov lignouglevodnoy matritsy v tekhnologii drevesnovoloknistykh plit* [The transformation matrix components lignouglevodnyh technology fibreboard]: dis...d-ra. tekhn. nauk, Minsk, 1998, 259 p.
7. Skrigan A.I. *Protsessy prevrashcheniya drevesiny i ee khimicheskaya pererabotka* [The process of wood transformation and its chemical processing] Minsk, Nauka i tekhnika, 1981, 206 p.
8. Nikitin N.I. *Khimiya drevesiny i tsellyulozy* [Chemistry of wood and cellulose]. Moscow, Leningrad: Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1962, 711 p.
9. Pen R.Z. *Statisticheskie metody modelirovaniya i optimizatsii protsessov tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva* [Statistical methods of modeling and optimization of processes of pulp and paper production]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskiy gos. un-t, 1982, 192 p.
10. Kolesnikov V.L., Zharskiy I.M., Urbanovich P.P. *Komp'yuternoe modelirovanie i optimizatsiya khimiko-tekhnologicheskikh sistem* [Computer simulation and optimization of chemical processes]. Minsk: BGTU, 2004, 533 p.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ДРЕВЕСНЫХ ПЛИТ НА ОСНОВЕ ФУРАНОВОГО ОЛИГОМЕРА

С.А. УГРЮМОВ, проф., КГТУ, д-р техн. наук⁽¹⁾,
А.В. ОСЕТРОВ, асп. КГТУ⁽¹⁾

ugr-s@yandex.ru, mtd@kstu.edu.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВПО «Костромской государственный технологический университет»
156005, г. Кострома, ул. Дзержинского, д.17, КГТУ.

Предложено использование олигомеров фуранового ряда для производства древесностружечных плит с повышенными эксплуатационными характеристиками. Представлены результаты оценки физико-механических свойств древесных плит на основе фуранового олигомера (на примере фурфурол-ацетонового мономера ФА) в сравнении со свойствами плит на основе фенолформальдегидного олигомера марки СФЖ-3013. Экспериментально установлено, что физико-механические свойства плит на основе фурфуролацетонового мономера ФА значительно улучшаются при повышенных температурах прессования, что связано с более полным отверждением связующего. В спектрограммах плит на основе фуранового олигомера наблюдается смещение пиков в области малых волновых чисел в сторону увеличения. Методом ИК-спектроскопии установлено повышение прочности химических связей в структуре древесных плит на основе фуранового олигомера, обусловленное перераспределением водородных связей и увеличением внутримолекулярных связей в структуре плит, за счет более полного отверждения и большей молекулярной массы отвержденного полимера, большей блокировки свободных гидроксильных групп компонентов древесного наполнителя, прежде всего целлюлозы. Предложена схема химического взаимодействия компонентов древесного наполнителя с компонентами связующего на основе фуранового олигомера в структуре древесных плит, характеризующаяся образованием густой сетки водородных связей между несвязанными гидроксильными группами целлюлозы и кислородами фурановых колец. Путем натурального эксперимента установлено, что на основе фурфуролацетонового мономера ФА возможно получение конструктивных древесностружечных плит с повышенной прочностью и длительной водостойкостью, которые могут эффективно использоваться в строительстве и иных сферах в условиях с переменными температурно-влажностными воздействиями.

Ключевые слова: древесностружечная плита, фурановый олигомер, фурфуролацетоновый мономер ФА, ИК-спектроскопия, химический состав, физико-механические свойства.

В настоящее время в отечественном производстве древесностружечных плит широко применяются карбамидоформальдегидные, а также фенолформальдегидные олигомеры, позволяющие изготавливать продукцию с высокими физико-механическими показателями. Однако основная часть выпускаемых плит имеет недостаточную водостойкость, что ограничивает их эффективное применение в условиях с переменными температурно-влажностными воздействиями, прежде всего в строительной сфере, а также производстве мебели. Повышение водостойкости плит может быть достигнуто путем модификации основного связующего или его совмещения с более стойкими олигомерами [1–3], а также при использовании альтернативных связующих, например олигомеров фуранового ряда [4,5].

В настоящее время фурановые олигомеры ограниченно используются в основном в строительстве для получения высокопрочных, водо- и химически стойких конструк-

ционных материалов, а также для модификации древесины с целью улучшения био- и огнестойкости и иных свойств. Известно, что древесные плиты на основе фурановых олигомеров, изготовленные при определенных технологических режимах, обладают повышенной прочностью, выдерживают длительное воздействие влаги и капельной воды [6–8].

Представляет интерес оценка свойств плит на основе фуранового олигомера в сравнении со свойствами плит на основе традиционного связующего, например, на основе фенолформальдегидного олигомера.

В экспериментальных исследованиях при изготовлении образцов древесностружечных плит использовалась специальная резаная березовая стружка с плитного производства ОАО «Фанплит» с отбором фракции 10/2, клеевые композиции на основе фенолформальдегидного олигомера марки СФЖ-3013 и фурфуролацетонового мономера ФА в смеси с отвердителем – *n*-толуолсульфокислотой.

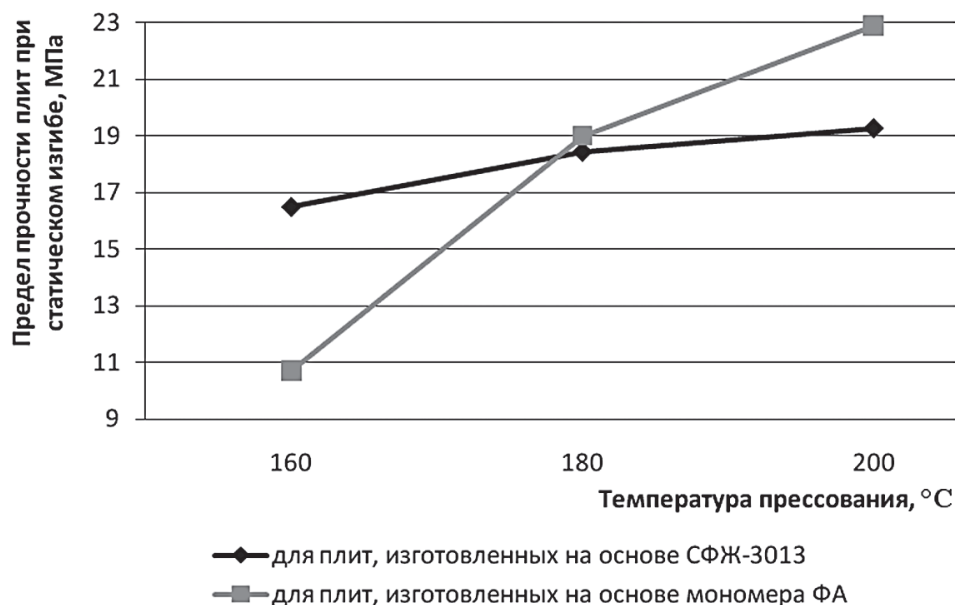


Рис. 1. Влияние вида связующего и температуры прессования на предел прочности плит при статическом изгибе

Fig. 1. The influence of a binder type and that of the pressing temperature on the ultimate strength of boards in static bending

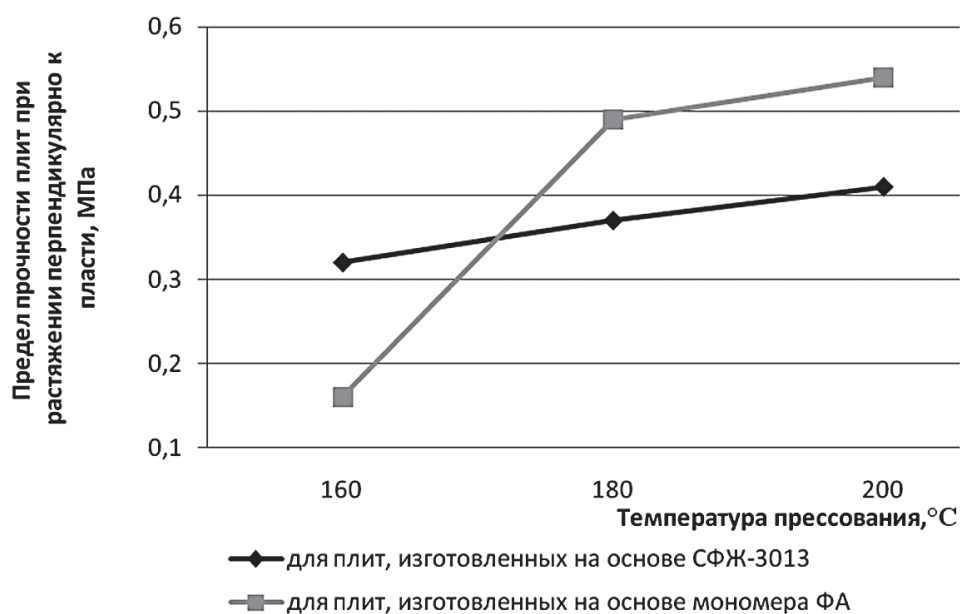


Рис. 2. Влияние вида связующего и температуры прессования на предел прочности плит при растяжении перпендикулярно к пласти

Fig. 2. The influence of a binder type and that of the pressing temperature on the limit of the board tensile strength perpendicularly to face

Температура прессования изменялась от 160 до 220°C. Прессование плит проводилось в лабораторном гидравлическом прессе П100-400 при следующих постоянных факторах:

– толщина плит 16 мм;

– расчетная плотность плит 700 кг/м³;
– удельное давление прессования 2 МПа;

– продолжительность выдержки под давлением 6 мин;

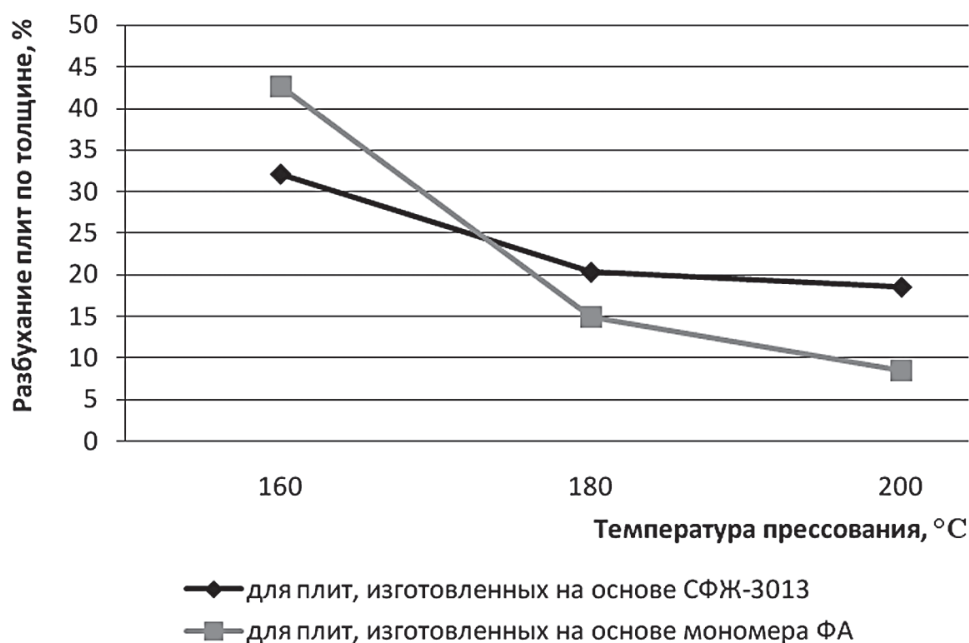


Рис. 3. Влияние вида связующего и температуры прессования на разбухание плит по толщине
 Fig. 3. The effect of a binder type and that of the pressing temperature on the board thickness swelling

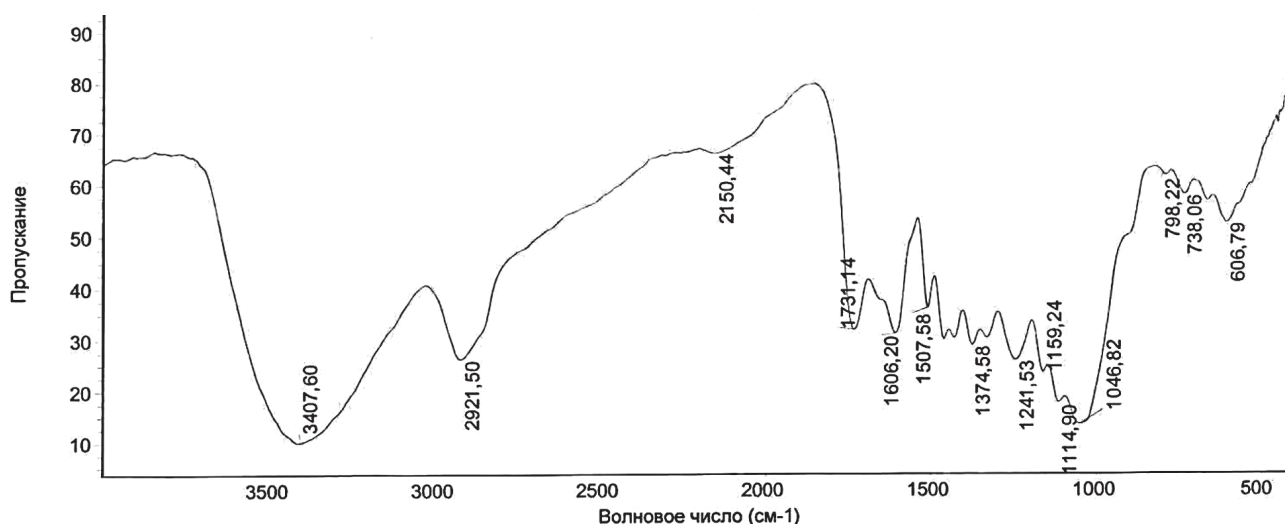


Рис. 4. ИК-спектр древесной плиты на основе олигомера СФЖ-3013
 Fig. 4. The IR spectrum of a wood board based on the oligomer СФЖ-3013

– расход связующего 12 % от массы абсолютно сухой стружки.

Физико-механические свойства плит определялись по ГОСТ 10634-78, ГОСТ 10635-78, ГОСТ 10636-78.

На рис. 1–3 представлены графические зависимости влияния вида используемого связующего и температуры прессования на основные физико-механические свойства древесностружечных плит.

Анализ полученных данных показал, что основные физико-механические свойства плит на основе фурфуролацетонного мономера ФА, по сравнению со свойствами плит на фенолформальдегидном олигомере, значительно улучшаются при повышенных температурах прессования (180–200°C), что связано с более полным отверждением связующего и блокировкой несвязанных гидроксильных групп целлюлозы с образованием во-

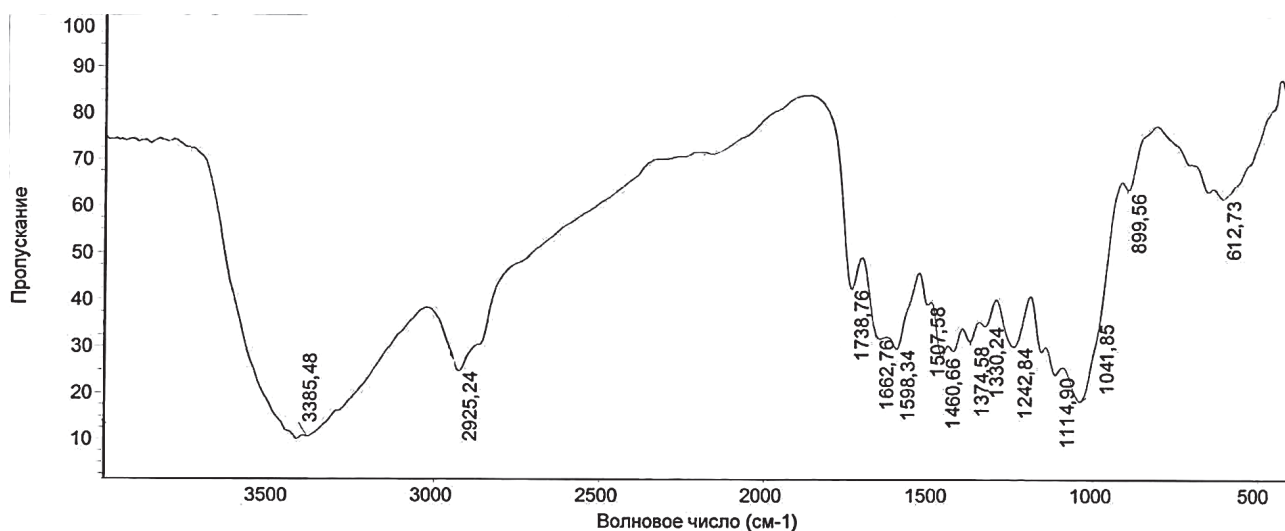


Рис. 5. ИК-спектр древесной плиты на основе мономера ФА
 Fig. 5. The IR spectrum of a wood board based on the monomer FA

дородных связей между целлюлозой и связующим.

Оценка структуры древесных плит на основе фенолформальдегидного олигомера марки СФЖ-3013 и фурфууролацетонового мономера ФА проводилась на ИК-спектрометре Avatar360 FT-IRESP. Для повышения точности полученных результатов образцы древесных плит перед испытанием были

тонко измельчены до получения пылевидной фракции. На рис. 4, 5 представлены полученные ИК-спектры древесных плит.

Анализ спектрограмм показал, что древесные плиты на различном связующем имеют свой уникальный спектр. Применительно к плитам на основе фурфууролацетонового мономера ФА в области спектра 3300 – 3500 см⁻¹, характеризующего орто-пара-связи, образованные с участием фенольных структур в составе макромолекул, происходит смещение максимума в сторону меньшего значения волнового числа (от 3407 до 3385 см⁻¹). Смещение максимума соответствует некоторому уменьшению энергии связи молекул, примерно на 2,74 Дж/моль.

Наряду с этим имеет более существенное по значимости смещение максимумов в области 500-1100 см⁻¹, характеризующих образование орто-орто-связи с участием фенольных структур. В спектрограммах плит на основе фурфууролацетонового мономера ФА появляются пики в области 898 и 612 см⁻¹. Это смещение обусловлено перераспределением ОН-групп и увеличением внутримолекулярных связей в структуре плит, что объясняет повышение физико-механических свойств [9,10].

Фурфууролацетоновый мономер ФА, используемый в производстве древесных плит, повышает их прочность за счет более

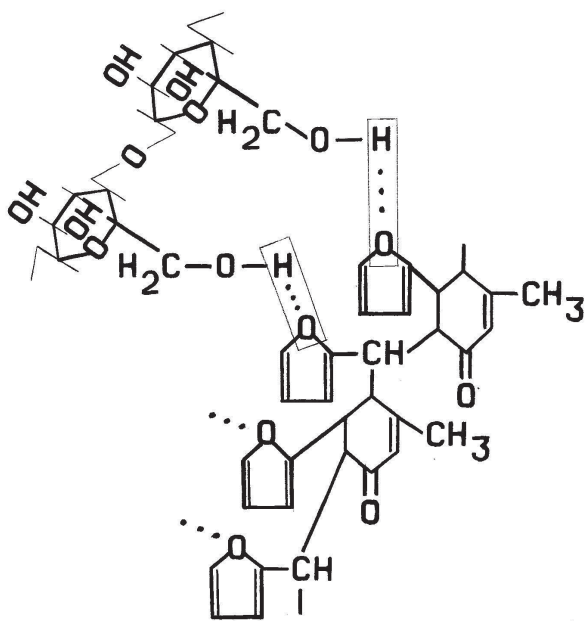


Рис. 6. Схема образования водородной связи между молекулой целлюлозы и молекулой монофурфурилиденацетона

Fig. 6. The scheme of the hydrogen bonding between cellulose molecules and monofurfurylideneacetone molecules

полного отверждения и большей молекулярной массы, повышает водостойкость за счет большей блокировки свободных гидроксильных групп компонентов древесного наполнителя, прежде всего целлюлозы.

При отверждении фурфууролацетонного мономера в структуре древесных плит, вероятно, происходит образование водородных связей между гетероциклическим кислородом и водородом несвязанных гидроксильных групп целлюлозы [11]. Гетероциклический кислород монофурфурилденацетона – основного компонента фурфууролацетонного мономера ФА – обладает повышенной электроотрицательностью за счет наличия четырех неспаренных электронов и смещения π -электронной плотности двух смежных кратных С–С связей, поэтому на нем возникает частичный отрицательный заряд, а на водороде несвязанной гидроксильной группы целлюлозы частичный положительный заряд. Таким образом, создаются условия для образования водородных связей [12]. Схема данного процесса представлена на рис. 6.

Путем натурального эксперимента установлено, что производство древесных плит на основе фурфууролацетонного мономера ФА при высокой температуре прессования позволяет получить конструкционный материал с повышенной прочностью и длительной водостойкостью, который можно эффективно использовать в строительстве и иных сферах в условиях с переменными температурно-влажностными воздействиями. Плиты на основе фуранового олигомера обладают высокими физико-механическими свойствами за счет более полного отверждения и большей молекулярной массы связующего, а также за счет блокировки свободных гидроксильных групп компонентов древесного наполнителя.

Разработан процесс химического взаимодействия компонентов древесины с компонентами связующего на основе фурфууролацетонного мономера ФА, обусловленный образованием густой сетки водородных связей между несвязанными гидроксильными группами целлюлозы и кислородами фура-

новых колец. Повышение прочности плит при использовании мономера ФА связано с ускорением процесса отверждения в сильно кислой среде (среде мономера ФА с *n*-толуолсульфокислотой) с образованием более жестких структур сетчатого типа с фенольными компонентами лигниновой части древесины.

Библиографический список

1. Угрюмов, С.А. Модифицирование карбамидоформальдегидной смолы для производства кистроплит / С.А. Угрюмов, В.Е. Цветков // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2008. – № 3. – С. 16–18.
2. Угрюмов, С.А. Оценка смачивающей способности клеевых составов, модифицированных спиртами, применительно к производству клееных древесных материалов / С.А. Угрюмов, Д.А. Кожевников // *Энциклопедия инженера-химика*. – 2012. – №2. – С. 26–29.
3. Федотов, А.А. Эффективные способы повышения эксплуатационных свойств древесностружечных плит / А.А. Федотов, С.А. Угрюмов // *Вестник КГТУ*. – Кострома: КГТУ, 2012 – №1(28). – С. 74–77.
4. Угрюмов, С.А. Фурановые смолы в производстве клееных древесных материалов / С.А. Угрюмов. – Кострома: КГТУ, 2012. – 142 с.
5. Ugryumov S.A. Furane oligomers in plywood and wood-board production / S.A. Ugryumov // *Polymer Science. Series D*, 2009. –Т. 2. –№2. –С. 106-108.
6. Угрюмов, С.А. Оценка влияния технологических факторов на свойства древесностружечных плит на основе фурановой смолы / С.А. Угрюмов, А.А. Федотов // *Вестник ПГТУ. Серия «Лес. Экология. Природопользование»*. – 2012. – № 2(16). – С. 36–42.
7. Малышева, Г.В. Прогнозирование ресурса клеевых соединений / Г.В. Малышева // *Клеи. Герметики. Технологии*. – 2013. – № 8. – С. 31–34.
8. Малышева, Г.В. Физическая химия адгезивных материалов / Г.В. Малышева // *Материаловедение*. – 2005. – № 6. – С. 38–40.
9. Чуднов, И.В. Особенности исследования свойств гибридных полимерных связующих методом дифференциально-сканирующей калориметрии / И.В. Чуднов, Э.Ш. Ахметова, Г.В. Малышева // *Материаловедение*. – 2013. – № 5. – С. 22–25.
10. Муранов, А.Н. Исследование свойств полимерных композиционных материалов на основе гетерогенной матрицы / А.Н. Муранов и др. // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. – 2012. – № 4. – С. 2–6.
11. Кононов Г.Н. Химические процессы, протекающие при горячем прессовании древесностружечных плит на основе фурфууролацетонного мономера ФА / Г.Н. Кононов, А.А. Федотов, С.А. Угрюмов // *Вестник ПГТУ. Серия «Лес. Экология. Природопользование»*. – 2013. – № 3. – С. 65–71.
12. Федотов А.А. Реакции отверждения фурфууролацетонного мономера ФА, применяемого в производстве древесностружечных плит / А.А. Федотов, С.А. Угрюмов // *Энциклопедия инженера-химика*. – 2012. – № 11. – С. 25–28.

STRUCTURE AND PROPERTIES OF PARTICLEBOARDS BASED ON FURAN OLIGOMER

Ugryumov S.A., Prof. KSTU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; Osetrov A.V., pg. KSTU⁽¹⁾

ugr-s@yandex.ru, mtd@kstu.edu.ru

⁽¹⁾ FGBOU VPO «Kostroma state university of technology» «156005, Kostroma, Dzerzhinsky str., 17, KSTU.

The usage of furan oligomer range for the production of particleboards with improved performance characteristics has been suggested. The results of the evaluation of physical and mechanical properties of particleboards based on furan oligomer (monomer FA) in comparison with the properties of particleboards based on phenol oligomer brand SFG-3013 are given. It is experimentally found that the physical and mechanical properties of boards produced on the basis of monomer FA significantly improved at higher pressing temperatures due to a more complete curing of the binder. In the spectrograms of boards based on furan oligomer some shifts of the peaks in the region of small wave numbers upwards were observed. By the method of IR-spectroscopy it was stated that there is an increase in the strength of the chemical bonds in the structure of boards based on the furan oligomer due to the redistribution of hydrogen bonds and the increase of the intramolecular bonds in the structure of boards which results from a more complete curing and greater molecular weight of the cured polymer, a better interlock of hydroxyl groups of wood filler components, primarily, those of cellulose. The proposed scheme of the chemical interaction of the wood filler components with the binder components based on the furan oligomer within the structure of wood-based panels is characterized by the formation of dense hydrogen bond network between free hydroxyl groups of cellulose and the oxygens of furan rings. By means of a full-scale experiment it was found that on the basis of monomer FA it is possible to produce construction particleboards with increased durability and long-lasting water resistance which can effectively be used in civil engineering and other industrial fields under conditions of variable temperature and humidity effects.

Keywords: particleboard, furan oligomer, furfural acetone monomer (FA), IR-spectrometry, chemical composition, physical and mechanical properties.

References

1. Ugryumov S.A., Tsvetkov V.E. *Modifitsirovanie karbamidoformal'degidnoy smoly dlya proizvodstva kostroplit* [Modification of urea-formaldehyde resins for the production of boards on the basis of fires flax]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 2008, no. 3, pp. 16-18.
2. Ugryumov S.A., Kozhevnikov D.A. *Otsenka smachivayushchey sposobnosti kleevykh sostavov, modifitsirovannykh spirtami, primenitel'no k proizvodstvu kleevykh drevesnykh materialov* [Evaluation of wetting ability of adhesive compositions modified with alcohols, in relation to the production of laminated wood materials]. *Entsiklopediya inzhenera-khimika* [Encyclopedia of chemical engineer], 2012, no. 2, pp. 26-29.
3. Fedotov A.A., Ugryumov S.A. *Effektivnye sposoby povysheniya ekspluatatsionnykh svoystv drevesno-struzhechnykh plit* [Effective ways of improving the performance properties of particleboard]/ A.A. Fedotov. *Vestnik KGTU* [Bulletin of KSTU]. 2012, no 1(28), pp. 74-77.
4. Ugryumov S.A. *Furanovye smoly v proizvodstve kleevykh drevesnykh materialov* [Furan resins in the manufacture of laminated wood materials]. Kostroma: KGTU, 2012, 142 p.
5. Ugryumov S.A. *Furane oligomers in plywood and wood-board production*. Polymer Science. Series D, 2009. Vol. 2. No. 2. pp. 106-108.
6. Ugryumov S.A., Fedotov A.A. *Otsenka vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov na svoystva drevesno-struzhechnykh plit na osnove furanovoy smoly* [Evaluation of the influence of technological factors on the properties of furan resin particleboard]. *Vestnik PGTU. Seriya «Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie»* [Bulletin of the PSTU. Series of «Forest. Ecology. Nature»]. Yoshkar-Ola: PGTU, 2012, no 2(16), pp. 36-42.
7. Malysheva G.V. *Prognozirovanie resursa kleevykh soedineniy* [Forecasting the resource of adhesive joints]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants. Technology], 2013, no 8. pp.31-34.
8. Malysheva G.V. *Fizicheskaya khimiya adgezivnykh materialov* [Physical chemistry of adhesive materials]. *Materialovedenie* [Materials Science], 2005, no 6, pp. 38-40.
9. Chudnov I.V., Akhmetova E.Sh., Malysheva G.V. *Osobennosti issledovaniya svoystv gibridnykh polimernykh svyazuyushchikh metodom differentsial'no-skaniruyushchey kalorimetrii* [Features of investigating the properties of hybrid polymer binder by differential scanning calorimetry]. *Materialovedenie* [Materials Science], 2013, no 5, pp. 22-25.
10. Muranov A.N. *Issledovanie svoystv polimernykh kompozitsionnykh materialov na osnove geterogennoy matritsy* [Study of the properties of polymer composites based on heterogeneous matrix]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik* [All materials. Encyclopedic reference], 2012, no 4, pp. 2-6.
11. Kononov G.N., Fedotov A.A., Ugryumov S.A. *Khimicheskie protsessy, protekayushchie pri goryachem pressovanii drevesno-struzhechnykh plit na osnove furfurolatsetonovogo monomera FA* [Chemical processes occurring during hot pressing of wood particleboards based on monomer FA]. *Vestnik PGTU. Seriya «Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie»* [Bulletin of the PSTU. Series of «Forest. Ecology. Nature»], 2013, no 3, pp. 65-71.
12. Fedotov A.A., Ugryumov S.A. *Reaktsii otverzheniya furfurolatsetonovogo monomera FA, primenyaemogo v proizvodstve drevesno-struzhechnykh plit* [The curing reaction of the (FA) furfural monomer used in the manufacture of particleboard]. *Entsiklopediya inzhenera-khimika* [Encyclopedia of chemical engineering], 2012, no 11, pp. 25-28.

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕДНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Хоссейн РАНГАВАР, *Университет подготовки преподавателей Шахид Раджи* ⁽¹⁾

hrangavar@yahoo.com

⁽¹⁾Университет подготовки преподавателей Шахид Раджи, Тегеран, Иран

В статье изучен эффект влияния медных наночастиц, использованных при изготовлении древесноволокнистых плит средней плотности (МДФ) на набухание плиты при поглощении ею воды (от 2 до 24-х часов). Наночастицы использовались в двух дозировках от 60 до 80 мл/кг (6–8 %) от сухой массы древесины. Физические свойства полученной доски сравнивались с контрольными образцами. Для производства доски использовалось горячее прессование продолжительностью 5, 6 и 7 минут. Результаты испытаний показали, что лучшие физические свойства показали образцы серии «5 мин – NC8 %». Свойство теплопередачи меди вызывало полимеризацию смолы в серединной части плиты, следовательно, физические качества плиты улучшались. Увеличение длительности горячей прессовки снижали физические свойства плит с нанодобавками как при 6 %, так и при 8 %-м их содержании. При более длительной термообработке эффект распространялся с серединной на периферийную часть материала, при этом смоляные связи разрушались. Таким образом, рекомендовано использовать дозировку медных наночастиц от 6 до 8 %, и при длительности термообработки 5 минут и дозировке 6 % материал МДФ рекомендуется для промышленного использования как обладающий наилучшими физическими свойствами.

Ключевые слова: наночастицы меди, древесноволокнистые плиты средней плотности, набухание, влагопоглощение, полимеризация смолы.

Introduction

In composite-board factories, hot-presses are usually considered to be a bottle-neck for nearly all wood-composite manufacturing factories (Doosthoseini 2001). Minimum pressing time of a particleboard primarily depends on heat transfer, which in turn varies with thickness, press temperature, closing rate, and mat moisture distribution. When high internal steam pressures are involved, the presstimes necessary to prevent damage resulting from the release of gases depend on such factors as resin type, density, press temperature, and total MC. Based on non-heat-conductivity nature of wood, several methods have so far been created to shorten presstime, saving time and energy. Still, except where controlled by high internal pressures or excessive moisture contents, the time required to maintain centerline temperatures varies only slightly. Also, final pressure, although a good indicator of minimum presstime within a board type, varies considerably (Lehmann et al. 1973).

The heat-conductive nature of nano-metal particles might be used to better transfer the heat from platens to the core of the mat. The thermal conductivity of nanofluids containing dispersed metallic nanoparticles has been studied in a research project (Warrier and Teja 2011); the results provid-

ed strong evidence that the decrease in the thermal conductivity of the solid with particle size must be considered when developing models for the conductivity of nanofluids. Enhancement in the thermal conductivity of common heat transfer fluids when small amounts of metallic and other nanoparticles were dispersed in these fluids has been reported by many researchers (Choi et al. 2001; Eastman et al. 2001; Kang et al. 2006; Patel et al. 2003; Li and Xuan 2006; Yu et al. 2010; Jana et al. 2007; Li et al. 2008). The effect of copper nano-particle in heat conductivity in composite-boards has not yet been studied. The present study was therefore conducted to evaluate if copper nanoparticles may contribute to the heat transfer and improve physical and mechanical properties of MDF.

Materials and methods

Wood fibers were procured from Sanaye Choobe Khazar Company in Iran (MDF Caspian Khazar). The fibers comprised a mixture of five species of beech, alder, maple, hornbeam, and poplar from the neighboring forests. Boards were 16 mm in thickness; the thickness of the boards was controlled by stopper bars. Increase in the density of the boards has been reported to improve board properties (Karlinasari et al. 2012), so in the present study, the density of all treatments was kept the

same (0.75 ± 0.03 g/cm³), in order not to make any source of differentiation between the treatments from this point of view. The moisture content of the fiber mat before hot pressing was kept constant at 10 % in all treatments. The total nominal pressure of the plates was 160 bars. The temperature of the plates was fixed at 175°C. Hot-pressing continued for 5, 6, and 7 minutes for different treatments. Urea-Formaldehyde resin (UF) was procured from Sari Resin Manufacturing Company in Sari, Iran. Twelve percent of UF-resin was used for all treatment based on the dry weight basis of the fibers; the specifications of the UF-resin are in Table 1. No hardener was used. Five replication boards were made for each treatment.

A 400 ppm aqueous nanocopper (NC) suspension was produced using an electrochemical technique in cooperation with Jafr Sorkhe Fajr Co. (Ltd.). The size range of copper nanoparticles was 20-90 nm. This was applied to the fibers in two ways as pretest: 1– directly spraying on the fibers, drying them, and then applying the resin on them; 2– adding the NC to the resin before applying it to the fibers. The pH and viscosity of the resin were kept constant for all treatments in the present study. For pretests, 80 mL/kg of nanocopper suspension was used. Boards were hot-pressed for 6.5 minutes.

Once the outcome of the pretests was revealed and the best method for mixing NC with the fibers was found, final tests were carried out. Nano-copper was used at two levels of 60 and 80 mL/kg wood particle (6 and 8 %), based on the dry wood basis; therefore, there were three treatments of: 1– control, 2– 60 mL of NC/kg, and 3– 80 mL of NC/kg. Five boards were manufactured for each treatment. Boards were kept conditioning room ($30 \pm 2^\circ\text{C}$, and 40–43 % relative humidity) for two weeks before the physical tests were carried out. Physical tests were carried out in accordance with the ISIRI 9044 PB Type P2 (2010) (compatible with ASTM D1037-99) specifications.

Physical properties

Thickness swelling and water absorption (2 and 24 hours) were measured. Nominal dimension of specimens was $200 \times 100 \times 16$ mm with 20 replications for each treatment. Specimens were weighed to a precision of 0.01 g with

a digital scale. Thickness swelling was monitored at 5 points of each single specimen with a 0.01 mm precision digital caliper; the 5 points included one in the center of the specimen, and four other points at every corner; the average of 5 points is reported.

Statistical Analysis

Statistical analysis was conducted using SAS software program, version 9.1 (2003). One-way analysis of variance (ANOVA) was performed on the data to conclude significant differences at the 99 % level of confidence. Hierarchical cluster analysis, including dendrogram and using Ward methods with squared Euclidean distance intervals, was carried out by SPSS/16 (2007).

Results and discussion

Increase in hot-press time significantly improved physical properties of control specimens in some cases (Figures 1-5). This shows better polymerization of the resin in the inner part of the mat (the center of the mat) because of the longer time. Addition of copper nanoparticles to the resin, both for 6 and 8 %-NC treatments, significantly improved all physical properties in 5-min boards (Figures 1-5). In fact, the heat-transfer properties of NC-particles facilitated the heat-transfer to the core parts of the mat and polymerization completed much easier and faster. Increasing in hot-press time drastically showed negative impact on the physical properties in NC-treated boards. This negative impact was more as the NC-consumption level increased from 6 % to 7 %. The extra heat that was easily transferred to the surface and core parts of the mat in NC-treated of 6– and 7– min boards made the polymerized resin break down and consequently it had negative effect on the properties. Similar heat-transfer property of silver nanoparticles was also reported to improve the properties in particleboard (Taghiyari et al., 2011). The lower nanosilver-consumption level (100 mL/kg) showed formation of better polymerization of the resin, and consequently, stronger bonds among the wood particles (Taghiyari 2011); increasing of nanosilver-consumption level to 150 mL/kg resulted in the de-polymerization of the resin (Taghiyari et al 2011; Taghiyari 2011); ultimately the properties were decreased to some extent.

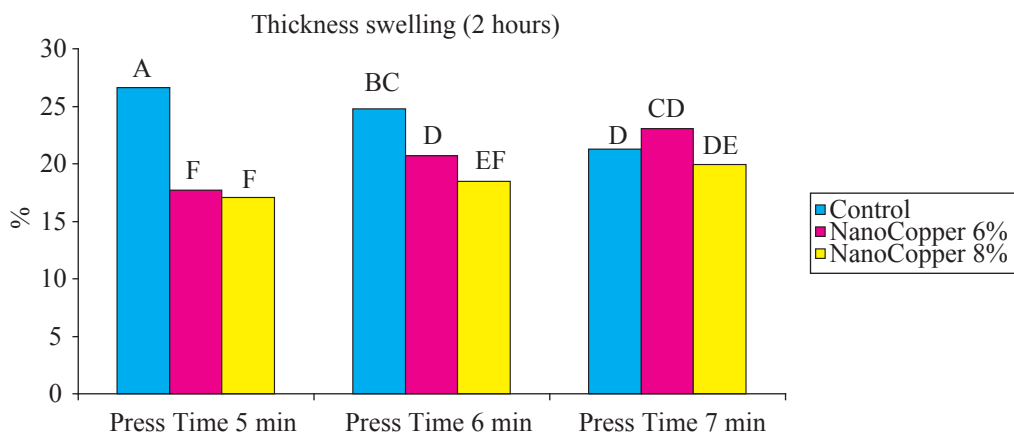


Fig. 1. Thickness swelling (2 hours) values of the nine treatments (3 different hot-press time for each element of the control, NC-6 %, and NC-8 %) (alphabets on the columns are the Duncan groupings at 99 % level of confidence)

Рис. 1. Толщина набухания (2 часа) значения девяти обработок (3-х различных время горячего пресса для каждого элемента управления, NC-6 %, и NC-8 %)

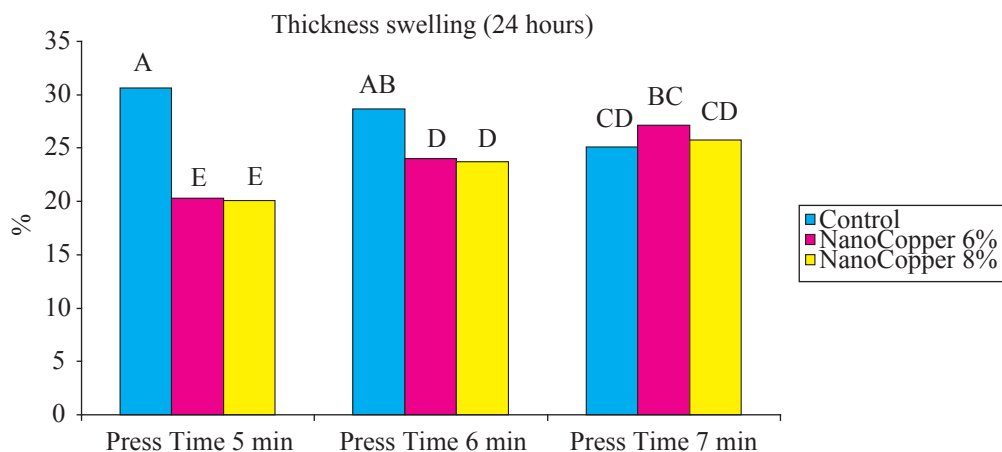


Fig. 2. Thickness swelling (24 hours) values of the nine treatments (3 different hot-press time for each element of the control, NC-6 %, and NC-8 %) (alphabets on the columns are the Duncan groupings at 99 % level of confidence)

Рис. 2. Толщина набухания (24 часов) значения девяти обработок (3-х различных горячего пресса время для каждого элемента управления, NC-6 %, и NC-8 %)

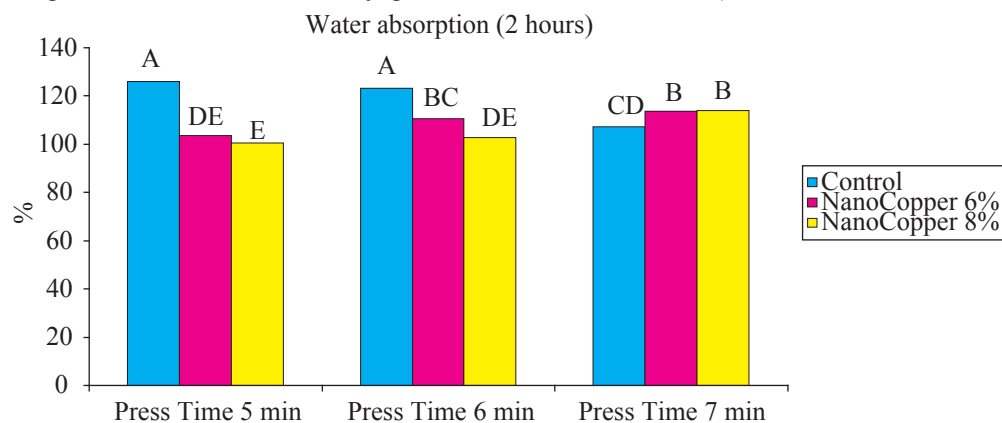


Fig. 3. Water absorption (2 hours) values of the nine treatments (3 different hot-press time for each element of the control, NC-6 %, and NC-8 %) (alphabets on the columns are the Duncan groupings at 99 % level of confidence)

Рис. 3. Поглощение воды (2 часа) значения девяти обработок (3-х различных горячего пресса время для каждого элемента управления, NC-6 %, и NC-8 %)

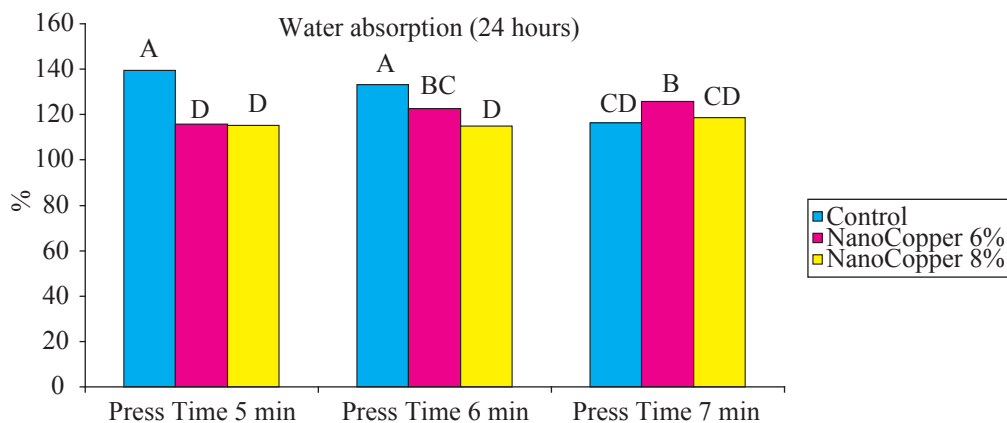


Fig. 4. Water absorption (24 hours) values of the nine treatments (3 different hot-press time for each element of the control, NC-6 %, and NC-8 %) (alphabets on the columns are the Duncan groupings at 99 % level of confidence)

Рис. 4. Водопоглощение (24 часа) значения девяти обработок (3-х различных горячего пресса время для каждого элемента управления, NC-6 %, и NC-8 %)

Conclusion

1– Heat-transfer property of copper nanoparticles facilitates the polymerization of the urea formaldehyde resin in the center part of the MDF mat;

2– Six percent of aqueous nanocopper suspension (60 mL of NC/kg), based on the dry weight basis of MDF fibers, may be recommended to be used the production of NC-treated MDF in order to improve physical properties in 16-mm thick MDF, provided the hot-press time be not higher than 5 minutes.

References

1. Doosthoseini K. 2001. *Wood Composite Materials Technology, Manufacture, and Applications*, The University of Tehran Press, pp. 97-223.
2. Lehmann WF, Geimer RL & Hefty FV. 1973. Factors affecting particleboard pressing time: Interaction with catalyst systems.

3. U.S.D.A. Forest Products Laboratory, Forest Service Research Paper FPL 208, pp. 22.
3. Warriar, P. & Teja, A. 2011. Effect of particle size on the thermal conductivity of nanofluids containing metallic nanoparticles. *Nanoscale Research Letters* 6:247 pp. 1 – 6.
4. Choi SUS, Zhang ZG, Yu W, Lockwood FE & Grulke EA. 2001. Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspension. *Applied Physics Letter*, 79, 2252-2254.
5. Karlinasari L, Hermawan D, Maddu A, Martiandi B & Hadi YS. 2012. Development of particleboard from tropical fast-growing species for acoustic pane. *Journal of Tropical Forest Science*, 24(1): 64 – 69.
6. Taghiyari HR. 2011a. Study on the Effect of Nano-Silver Impregnation on Mechanical Properties of Heat-Treated *Populus nigra*, *Wood Science and Technology*, Springer-Verlag, 45: 399 – 404; DOI 10.1007/s00226-010-0343-5.
7. Taghiyari HR. 2011b. Fire-Retarding Properties of Nano-Silver in Solid Woods. *Springer: Wood Science and Technology*. DOI 10.1007/s00226-011-0455-6.
8. Taghiyari HR. 2011c. Effects of nano-silver on gas and liquid permeability of particleboard. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*. Vol. 6, No 4, Oct.-Dec. p. 1509 – 1517.
9. Taghiyari HR, Rangavar H & Farajpour Bibalan O. 2011. Nano-Silver in Particleboard. *BioResources* 6(4): 4067 – 4075.

STUDY OF PHYSICAL PROPERTIES OF MEDIUM-DENSITY FIBERBOARD MANUFACTURED BY NANOCOPPER

Hossein Rangavar, Wood Science and Technology Department⁽¹⁾

hrangavar@yahoo.com

⁽¹⁾Wood Science and Technology Department, The Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tel.: +98 9124402051; Fax: +98 21 22970071. Lavizan, Shabanloo St, Tehran, Iran.

In this study, the effects of copper nanoparticles on physical properties of medium density fiberboards (MDF) was investigated. Nanocopper (NC) was mixed with UF-resin at two levels of 60 and 80 mL/kg, based on the dry weight basis of fibers, and the properties of the boards produced were compared with control specimens. Three hot-press times of 5, 6, and 7 min were used. Results showed that the highest physical properties were observed in 5-min-NC8 %. The heat-transfer property of copper facilitated polymerization of resin in the core-section of the mat; consequently, the properties were improved. Increase in hot-press time significantly decreased properties in NC-treated specimens, both in NC-6 and -8 % treatments. Here, the extra heat that was transferred to the surface and core sections resulted in the breaking down of the resin bonds. As to the rather similar results of NC-6 and -8 % treatments, 5-min-NC6 % can be recommended to be used at industrial scale to improve physical and mechanical properties of MDF.

Keywords: Copper nanoparticles, Medium-Density Fiberboard, physical properties, polymerization of resin

ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОТХОДОВ ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

М.В. ЦЫГАРОВА, доц., Сыктывкарский лесной институт (филиал) СПбГЛТУ
им. С.М. Кирова, канд. техн. наук⁽¹⁾

mtsugarova@mail.ru

⁽¹⁾ Сыктывкарский лесной институт, 167000, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Ленина, д. 39

Руководители деревоперерабатывающих предприятий часто решают финансовые проблемы, связанные со значительными затратами денежных средств на закупку сырья, при этом большинство древесных отходов производства используется в небольших объемах, а многие виды отходов вообще не вовлекаются в переработку. Статья посвящена актуальному вопросу изучения рационального комплексного и экономически выгодного использования отходов. Рассмотрен технологический процесс действующего деревоперерабатывающего предприятия и предложены пути эффективного использования древесных отходов в качестве дополнительного сырья для производства строительных материалов и древесного топлива, производство которых стремительно развивается. Произведены технологические расчеты по подбору оборудования для предлагаемого производства с учетом объема переработки древесины на предприятии. Выполнено технико-экономическое обоснование предлагаемых вариантов выпускаемой продукции. Затраты основаны на тарифах с учетом НДС, действительных по данным предприятия на январь 2012 года. Предлагаемые пути использования неизбежно образующихся отходов переработки древесины позволят увеличить прибыль предприятия.

Ключевые слова: древесные заполнители, опилкобетон, арболит, королит, себестоимость, капитальные вложения, срок окупаемости.

Одной из актуальных проблем лесопромышленного комплекса является переработка отходов. Как правило, отходы деревообработки не находят должного применения и образуют древесные свалки. В условиях рыночных отношений предприятиям необходимо пересмотреть свое отношение к ним: отходы – все, что не обеспечивает дополнительную прибыль предприятию. Что делать с отходами? Возможные варианты и их экономическая оценка представлены на схеме (рис. 1).

Проблемой рационального использования древесных отходов занимаются все лесоперерабатывающие предприятия страны. Основными направлениями использования отходов являются производство топлива и удобрений, плит и строительных материалов, химическая переработка и т.д.

Целью данной работы является сырьевое планирование и внедрение технологической линии по переработке неизбежно образующихся отходов лесопиления на примере деревоперерабатывающего предприятия с объемом лесопиления 8,4 тыс. м³ в год, а также расчет экономических показателей. Сырьем для деревоперерабатывающего производства являются круглые лесоматериалы, закупаемые у лесозаготовительных предприятий, преимущественно хвойных пород дли-

ной 4 м. Технологическое оборудование, марки и количество оборудования, имеющегося на предприятии, представлены в табл. 1.

Анализ существующего технологического процесса переработки древесины предприятия показал:

- 1) на предприятии нет комплексной переработки пиловочного сырья;
- 2) количество отходов составляет 30 % от общего объема закупаемого сырья и равен 2280 м³/год, которые впоследствии не продаются и не используются для бытовых и хозяйственных нужд предприятия;
- 3) предприятие не получает дохода от 1/3 части закупаемого по высокой цене сырья, т.е. более 2 млн руб. в год теряется;

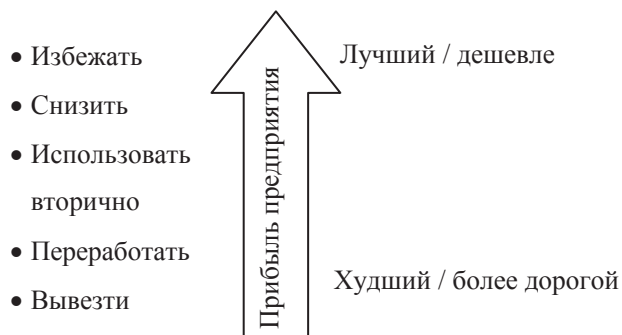


Рис. 1. Методы обращения с отходами и их экономическая оценка

Fig. 1. Waste Treatment Methods and their economic evaluation

Технологическое оборудование лесопильного цеха предприятия

Technological equipment of sawmill companies

Наименование операции	Наименование оборудования	Марка	Кол-во оборудования	П _{см} , м ³ /см	Режим работы	Кол-во рабочих
Подача пиловочника	Тельфер	2Г61	1	20	1	2
Обработка пиловочника	Ленточно-пильный станок	«Гравитон»	1	4	2	2
		«Тwin400»	1	6	2	2
		«Добрыня Никитич»	1	4	2	2
	Многопильный станок	«Авангард-РМ-50»	1	6	1	2
Обработка необрезных досок	Обрезной станок	«Тwin»	1	6	1	2
		Ц2Д7А	1	4		
Изготовление пагонажных изделий	4-х сторонний фрезерный станок	«Logosol»	1	3	1	2
Вывоз пиломатериалов	Тельфер	2Г61	1	20	1	2
Всего			9			18

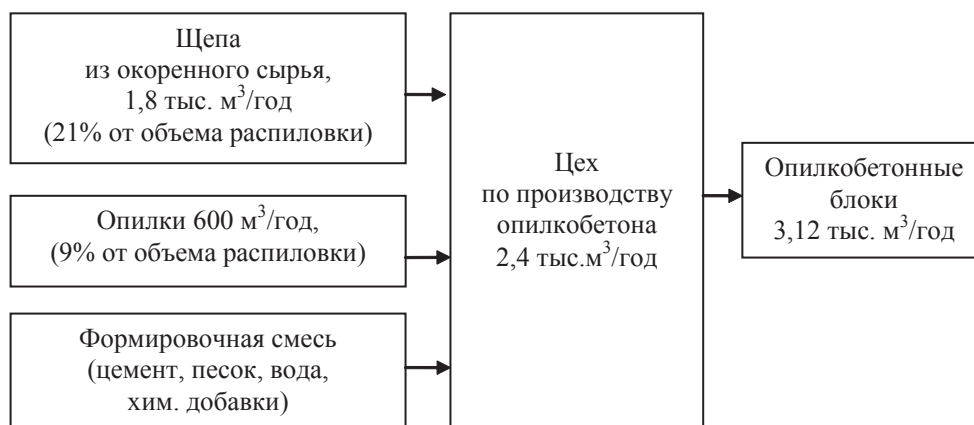


Рис. 2. Материальный баланс сырья для производства опилкобетонных блоков при существующем процессе деревообрабатывающего предприятия

Fig. 2. The material balance of raw materials for the production of sawdust-concrete structures with the existing processes of a woodworking enterprise

4) отходы лесопиления складываются на территории деревообрабатывающего участка, создавая при этом пожароопасную ситуацию и занимая значительную площадь на территории.

В данной работе нами рассматривается два варианта использования древесных отходов:

1. Производство строительных материалов (стеновых блоков): опилкобетон; арболит; королит.

2. Производство древесного топлива.

Затраты основаны на тарифах с учетом НДС, действительных по данным предприятия на январь 2012 г.

Для утилизации древесных отходов как дополнительного сырья и получения качественной готовой продукции из отходов деревообработки предусматривается начальной фазой обработки сырья сделать окорку пиловочника. Для этого на участке, где происходит разгрузка пиловочного сырья, оборудуется специальная площадка и устанавливается окорочный станок марки ОК63-2.

Для производства продукции из отходов деревообработки главным составляющим являются опилки и щепа. Предлагается установить рубительную машину марки РМ-55Р для измельчения кусковых отходов в щепу.

Расчет прибыли и срока окупаемости при изменении цен реализации на опилкобетон
The calculation of profit and payback period when the prices for sawdust-concrete material are changing

Показатели	Значения, руб.			
	Рыночная цена 1 м ³	2 000,0	2 500,0	3 000,0
Себестоимость 1 м ³	1 639,8			
Чистая прибыль	856 547,5	2 060 387,5	3 264 227,5	4 468 067,5
Период окупаемости, год	0,74	0,31	0,19	0,14

Основными потребителями строительных материалов являются сельское строительство (жилищное и хозяйственные) и сфера сооружения пригородных коттеджей. Для динамичного развития малоэтажного строительства, входящего в нацпроект «Доступное жилье» и целевой программы «Жилище», необходимы более дешевые строительные материалы, но по прочностным характеристикам не уступающие основным строительным материалам.

Материальный баланс для производства опилкобетона представлен на рис. 2.

Выполним проверочный расчет по принятому направлению переработки с целью изготовления опилкобетона.

Отходы: – горбыль $V_{горб} = 1700 \text{ м}^3/\text{год}$

– опилки $V_{оп} = 600 \text{ м}^3/\text{год}$

Горбыль и крупнокусковые отходы измельчаются до мелкой фракции.

Объем выхода щепы мелкой фракции составит $V = 1105 \text{ м}^3/\text{год}$.

Общий объем отходов для производства опилкобетонных блоков равен $V_{отх} = 1705 \text{ м}^3/\text{год}$.

Из данного количества опилок выход готовой продукции составит:

– расход опилок на 1 м³ готовой продукции $200 \text{ кг} \div 100 \text{ кг}/\text{м}^3 = 2 \text{ м}^3$;

– сменная производительность линии по производству опилкобетонных блоков равна $\Pi_{см} = 12 \text{ м}^3/\text{см}$, расход опилок составляет $6 \text{ м}^3/\text{см}$. Для того чтобы избежать простоев механизмов, нужно $1584 \text{ м}^3/\text{год}$ опилок.

– Выход готовой продукции за год составит $V_{гп} = 3168 \text{ м}^3/\text{год}$.

– Средняя цена 1 м³ опилкобетонных блоков 1500 руб.

– Затраты на расход материалов смеси 853,6 руб.

– Годовой доход от реализации готовой продукции $3168 \times 1500 = 4\,752\,000 \text{ руб.}$

В табл. 2 представлен расчет прибыли и срока окупаемости при изменении цен реализации на опилкобетон.

Выполним предварительный расчет по принятому направлению переработки с целью получения арболитовых блоков.

Общий объем отходов мелкой фракции составляет $V_{отх} = 1705 \text{ м}^3/\text{год}$. Для производства 1 м³ требуется опилок $200 \text{ кг} \div 100 \text{ кг}/\text{м}^3 = 2 \text{ м}^3$. Производительность линии по производству арболитовых блоков, выбранной в данной работе, составляет $\Pi_{см} = 9,1 \text{ м}^3/\text{см} = 2400 \text{ м}^3/\text{год}$. Чтобы избежать простоев механизмов, потребуется $V_{оп} = 4,55 \text{ м}^3/\text{см} = 1\,201 \text{ м}^3/\text{год}$. Годовой объем отходов составляет $1\,705 \text{ м}^3$.

В табл. 3 представлен расчет прибыли и окупаемости оборудования при изменении цены продажи арболитовых блоков.

В табл. 4 представлен расчет прибыли и окупаемости оборудования при изменении цены продажи королита.

Производство древесного топлива из отходов деревообрабатывающих производств в настоящее время также является одним из наиболее актуальных направлений утилизации. На рис. 3 представлен материальный баланс для производства пеллет.

Выполним проверочный расчет по принятому направлению переработки с целью получения древесных гранул (пеллет):

Годовая производительность цеха по производству пеллет при объеме отходов $V_{отх} = 2,4 \text{ м}^3/\text{год}$ составляет $V_{гп} = 936 \text{ т}/\text{год} = 3,54 \text{ т}/\text{см}$.

Выбираем линию по производству пеллет с часовой производительностью $\Pi_{ч} = 0,5 \text{ т}/\text{ч}$, сменная производительность линии составит $\Pi_{см} = 3,5 \text{ т}/\text{ч}$.

Эффективность производства древесного топлива при небольшом объеме лесо-

**Расчет прибыли и окупаемости оборудования при изменении
цены продажи арболитовых блоков**

The calculation of profit and payback of the equipment when the sale price of wood-concrete blocks is changing

Показатели	Сумма, руб.				
Рыночная цена 1 м ³	2 000,0	2 500,0	3 000,0	3 500,0	4 000,0
Себестоимость 1 м ³	1955,1				
Чистая прибыль	70 356,0	983 268,0	1 896 180,0	2 809 092,0	3 722 004,0
Период окупаемости, год	9,84	0,7	0,33	0,23	0,17

Расчет прибыли и окупаемости оборудования при изменении цены продажи королита
The calculation of profit and payback of equipment when the sales price for korolite is changing

Показатели	Сумма, руб.			
Себестоимость 1 м ³	1 832,5			
Рыночная цена 1 м ³	2 000,0	2 500,0	3 000	3 500
Чистая прибыль	294 275,0	1 207 187,1	2 120 099,1	3 033 011,1
Период окупаемости, год	2,35	0,57	0,33	0,23

Расчет прибыли и окупаемости оборудования при изменении цены продажи пеллет
The calculation of profit and payback of equipment when the sales price for pellets is changing

Показатели	Сумма, руб.		
Рыночная цена 1 т	140 евро = 5 180 руб.	150 евро = 5 550 руб.	160 евро = 5 920 руб.
Себестоимость 1 т	4 686,62		
Чистая прибыль	232 492,77	752 150,37	1 271 807,94
Период окупаемости, лет	28,12	8,7	5,14



Рис. 3. Материальный баланс сырья производства пеллет при существующем технологическом процессе
Fig. 3. The material balance of raw for pellet production at the existing technological process

пиления не подтвердилась экономическими расчетами: высокая себестоимость готовой продукции и большие капитальные вложения.

Проанализировав технологические процессы изготовления трех видов строительных материалов (опилкобетон, арболит, королит) и древесного топлива, сравнив экономические расчеты по определению себестоимости предложенных вариантов, деревопере-

рабатывающему предприятию рекомендуется внедрить технологическую линию по изготовлению арболита и королита. Для выпуска двух видов продукции потребуется одна установка. Тот или иной вид продукции будет производиться по мере накопления сырья опилок и коры, или работа линии по производству арболитовых блоков будет осуществляться в две смены. Два вида продукции востребованы для строительной отрасли. Затраты и капитальные

вложения небольшие, срок окупаемости оборудования составляет около года.

Библиографический список

1. Биомасса древесины и биоэнергетика: монография / Л.А. Занегин, И.В. Воскобойников, В.А. Кондратюк и др. – М.: МГУЛ, 2008. – Т. 1. – 428 с.
2. Биомасса древесины и биоэнергетика: монография / Л.А. Занегин, И.В. Воскобойников, В.А. Кондратюк и др. – М.: МГУЛ, 2008. – Т. 2. – 456 с.
3. Гомонай, М.В. Технология переработки древесины: Учебно-справочное пособие / М.В. Гомонай. – М.: МГУЛ, 2001. – 232 с.
4. Гомонай, М.В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режим работы: монография / М.В. Гомонай. – М.: МГУЛ, 2006. – 68 с.
5. ГОСТ 22690-88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.
6. ГОСТ 19222-84 Арболит и изделия из него. Общие технические условия.
7. Использование древесных отходов при производстве арболита. – М.: Лесная пром-сть, 1975. – 192 с.
8. Коробов, В.В. Переработка низкокачественного сырья (проблемы безотходной технологии) / В.В. Коробов, Н.П. Рушнов. – М.: Экология, 1991. – 288 с.
9. WWW.PELLETS.RU
10. Никишов, В.Д. Комплексное использование древесины: Учебник для вузов / В.Д. Никишов. – М.: Лесная пром-сть, 1985. – 264 с.
11. Суетина, Р.И. Технично-экономическое планирование нижнескладских работ. метод. указ / Р.И. Суетина, М.В. Цыгарова. – Ухта: УГТУ, 2006. – 42 с.
12. СН 549-82 Инструкция по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита.
13. Цыгарова, М.В. Комплексное использование древесины: метод. указания. / М.В. Цыгарова. – Ухта: УГТУ, 2007. – 55 с.
14. Ясинский, В.С. Рациональное и комплексное использование отходов лесопильно-деревообрабатывающих производств / В.С. Ясинский. – Л.:ЛТА, 1990. – 44 с.

PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS FROM WOODWORKING ENTERPRISE WASTE

Tsygarova M.V., Assoc. Prof. Syktyvkar Forest Institute (branch) of St. Petersburg State Forest University under name of S. M. Kirov, Ph.D. (Tech.) ⁽¹⁾

mtsytgarova@mail.ru

⁽¹⁾ Syktyvkar Forest Institute 39 Lenin Str, Syktyvkar Komi republic, Russia, 167982

Top managers of woodworking enterprises often have to sort out the financial problems related to paying a lot of money facilities to purchase the necessary raw material while a huge part of production wood wastes is used only in small volumes, and many types of waste are not engaged in processing at all. The article deals with a very urgent problem of studying a rational, complex and economically advantageous utilization of waste. The technological cycle of a woodworking enterprise in operation has been under consideration, and the ways of the effective utilization of wood waste have been offered as an additional raw material for the production of construction materials and fuelwood which have recently been produced in a larger scale at a swift rate. Certain technological calculations have been made as far as the selection of equipment for the above production is concerned, while taking into account the volume of wood processing at an enterprise. The feasibility study of the offered range of products has been carried out. The expenses are based on the tariffs, taking into account VATS, actual according to the data of the enterprise in January, 2012. The suggested ways of using production woodwaste which is inevitable during wood processing will enable enterprise managers to increase the enterprise profitability.

Keywords: wood fillers, wood-cement concrete, wood concrete, carolith, prime cost, capital investments, payback period.

References

1. Zanehin L.A., Voskoboyikov I.V., Kondratyuk V.A., Shhelokov V.M. *Biomassa drevesiny i bioenergetika* [Wood Biomass and bioenergy]. Moscow: MGUL, 2008. V. 1. 428 p.
2. Zanehin L.A., Voskoboynikov I.V., Kondratyuk V.A., Shhelokov V.M. *Biomassa drevesiny i bioenergetika* [Wood Biomass and bioenergy]. Moscow: MGUL, 2008. V. 2. 456 p.
3. Gomonay M.V. *Tekhnologiya pererabotki drevesiny* [Wood processing technology]. Moscow: MGUL, 2001. 232 p.
4. Gomonay M.V. *Proizvodstvo toplivnykh briketov. Drevesnoe syr'ye, oborudovanie, tekhnologii, rezhim raboty* [Production of fuel briquettes. Wood raw materials, equipment, technology, mode of operation]. Moscow: MGUL, 2006. 68.
5. GOST 22690-88 *Betony. Opredelenie prochnosti mekhanicheskimi metodami nerazrushayushchego kontrolya* [GOST 22690-88 Concrete. Determination of the mechanical strength of the NDT methods].
6. GOST 19222-84 *Arbolit i izdeliya iz nego. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [GOST 19222-84 Arbolit and articles thereof. General specifications].
7. *Ispol'zovanie drevesnykh otkhodov pri proizvodstve arbolita* [Use of wood waste in the manufacture of arbolita]. Moscow: Lesnaya prom-st', 1975. 192 p.
8. Korobov V.V., Rushnov N.P. *Pererabotka nizkokachestvennogo syr'ya (problemy bezotkhodnoy tekhnologii)* [Processing of low-grade raw materials (problems of non-waste technology)]. Moscow: Ekologiya, 1991. 288 p.
9. WWW.PELLETS.RU
10. Nikishov V.D. *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny* [Integrated use of wood]. Moscow: Lesnaya prom-st', 1985. 264 p.
11. Suetina R.I., Tsygarova M.V. *Tekhniko-ekonomicheskoe planirovanie nizhneskladskikh rabot* [Feasibility planning nizhneskladskikh work]. Ukhta: UGTU, 2006. 42 p.
12. SN 549-82 *Instruktsiya po proektirovaniyu, izgotovleniyu i primeneniyu konstruktivnykh izdeliy i izdeliy iz arbolita* [SN 549-82 Instructions for the design, manufacture and application of structures and products, and products from arbolita].
13. Tsygarova M.V. *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny* [Integrated use of wood]. Ukhta: UGTU, 2007. 55 p.
14. Yasinskiy V.S. *Ratsional'noe i kompleksnoe ispol'zovanie otkhodov lesopil'no-derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv* [Rational and comprehensive utilization of waste of sawmills, woodworking]. Leningrad: LTA, 1990. 44 p.

УДК 674.812.02

КОМПОЗИЦИОННАЯ ФАНЕРА С ДОБАВКАМИ НАНОЦЕЛЛЮЛОЗЫ

В.А. ШАМАЕВ, проф., ВГЛТУ, д-р техн. наук⁽¹⁾,
Д.А. ПАРИНОВ, асп. ВГЛТУ⁽¹⁾

drevstal@mail.ru, dmitryparinov@mail.ru

⁽¹⁾ Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова
394087 г.Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8.

Исследован процесс активации гидрогеля нанокристаллической целлюлозы (НКЦ) ультразвуком и импульсным магнитным полем. Добавки активированной НКЦ в фенолоформальдегидные карбамидоформальдегидные смолы увеличивают прочность клееного шва при склеивании древесины в 2 раза, при склеивании фанеры – в 1,5 раза. Если гидрогель НКЦ намагничивается с изменением pH с 7 до 4,5, он увеличивает прочность древесины в 1,8 раз при содержании гидрогеля НКЦ в древесине 15 %. Активированная нанокристаллическая целлюлоза проявляет свойства, присущие всем классическим наноматериалам, т.е. в момент фазового перехода образует активные центры, на которых отверждающийся состав образует более прочную кристаллическую решетку, в результате чего значительно увеличивается прочность твердой фазы. После введения в древесину гидрогеля НКЦ, прессования и сушки получают модифицированную древесину, имеющую прочность при сжатии вдоль волокон 120–130 МПа и степень уплотнения 15 % для березы и 25 % для осины, т.е. использование предложенного способа позволяет снизить степень уплотнения в 2 раза. Применение нанокристаллической целлюлозы в сочетании с магнитноимпульсным и ультразвуковым воздействием позволяет получить клееную модифицированную древесину, равнопрочную по всей длине и ширине. При этом предел прочности при скальвании вдоль волокон достигает 10,5 МПа, что в 2,5 раза выше, чем при склеивании известными способами. При активации НКЦ ультразвуком предел прочности по клееному шву в сухом состоянии возрастает по сравнению с контрольным образцом на 16 %, а при добавочной обработке клееной фанеры ИМП на 23 %. Общее среднее увеличение прочности при содержании НКЦ до 2 % с последующей обработкой ультразвуком и ИМП составило 50 %.

Ключевые слова: прочность, наноматериалы, гель, фанера, склеивание, ультразвук, древесина, склеивание, импульсное магнитное поле.

В настоящее время все более остро ощущается дефицит древесины твердых лиственных пород при малом вовлечении в переработку древесины мягких лиственных пород [1, 2]. В то же время свойства древесины мягких лиственных пород можно существенно повысить до плотности 800–1200 кг/м³ методом химико-механического модифицирования.

Потребление древесины твердых лиственных пород в мире составляет 500 млн м³, в год из них на российский рынок приходится около 3,5 млн м³.

Вследствие того, что возобновление древесины твердых пород происходит в 7–10 раз медленнее, чем возобновление мягких пород, а их промышленные запасы остались только в заповедниках, в последнее время наметился и все более обостряется дефицит этого вида древесины

Это привело к значительному ее удорожанию как в России, непосредственно располагающей ее запасами, так и в других странах, активно перерабатывающих данную древесину развитых стран Европы, Азии и

Америки, куда она завозится из развивающихся стран Африки и Южной Азии.

Технологические возможности производства модифицированной древесины позволяют получать конечный продукт с широким спектром декоративных, прочностных, физико-механических и эксплуатационных свойств, которые можно изменять в зависимости от требований потребителя или производителя. Наибольший экономический эффект прослеживается при модификации древесины низкосортных и малоценных пород древесины, таких как береза, осина, ольха, тополь, эвкалипт и др.

Сущность технологии заключается в пропитке с торца под давлением оцилиндрованной заготовки свежесрубленной древесины мягких лиственных пород различными модификаторами и последующей сушке под механическим давлением 0,4–0,5 МПа в стандартных сушильных камерах, оборудованных гидроцилиндрами.

Получаемый конечный продукт сохраняет уже имеющиеся свойства исходной древесины и приобретает технологически

задаваемый спектр новых качеств, например, повышенную твердость и низкую истираемость, плотность и прочность, био- влаго-огнестойкость, новые декоративные свойства.

Изделия из модифицированной древесины (паркет, окна, двери, строительные детали, лестницы) являются клееными. Существующие клеи не обеспечивают прочность клеевого шва, равную прочности самой модифицированной древесины. Этот эффект достигается за счет применения нанокристаллической целлюлозы, и, как следствие, увеличение прочности клеевого соединения способствует повышению эксплуатации клееных изделий, т.е. приблизится к сроку службы самой модифицированной древесины (50 лет).

Все более широкое применение в процессах деревообработки находят наноматериалы, в первую очередь наноцеллюлоза. Сама по себе наноцеллюлоза достаточно пассивный материал и наносвойства проявляются лишь после химической или физической активации. Химическая активация кислотами или щелочами происходит, например, в процессе варки древесины при получении бумаги. Физические методы активации наноцеллюлозы более предпочтительны, т.к. они не меняют свойства материалов, на которые воздействует НКЦ. К ним относится воздействие ультразвука, импульсного магнитного поля, сильного постоянного магнитного поля [3,4].

Ранее проводимые исследования показали, что нанофибрилярная и нанокристаллическая целлюлоза без активации при добавлении в клеевые составы незначительно увеличивают прочность древесностружечных плит, фанеры и других древесных материалов (в среднем на 4–6 %). Активированная нанокристаллическая целлюлоза проявляет свойства, присущие всем классическим наноматериалам, т.е. в момент фазового перехода образует активные центры, на которых отверждающийся состав образует более прочную кристаллическую решетку, в результате чего значительно увеличивается прочность твердой фазы. Так, при отвержде-

нии карбамидо- и фенолоформальдегидных смол в присутствии НКЦ вместо ортогональной кристаллической решетки образуется новая решетка, близкая к гексагональной.

В настоящей работе выдвинута гипотеза, что в условиях получения фанеры добавки НКЦ в карбамидомеламиноформальдегидную смолу увеличат прочность получаемого материала, в первую очередь за счет увеличения прочности клеевого шва. Поскольку в этом случае прочность клеевого шва может оказаться выше прочности березового шпона, пакет шпона усиливался базальтовой тканью.[3]

Методика получения модифицированной древесины

Для получения модифицированной древесины приготавливают пропиточный 30 %-ный водный раствор карбамида, содержащий форконденсат карбамидоформальдегидного олигомера (КФК), в который добавляют упрочнитель – 2 %-ный гидрогель наноцеллюлозы (НЦ) в количестве 15–18 % от массы КФК. Вода, используемая для приготовления раствора, активируется намагничиванием до анализа с окислительно-восстановительным потенциалом 800–900 Мв с рН=2,5.

Добавление в пропиточный раствор водного геля НЦ в указанном количестве, намагничивание воды до анализа обеспечивают получение модифицированной древесины требуемой прочности при сжатии вдоль волокон 120 – 130 МПа со степенью уплотнения для березы 15 %, для осины 25 %, то есть в два раза меньше, чем при модифицировании известным способом.

Введение водного геля НЦ увеличивает степень сшивки полимера с древесиной. За счет этого увеличивается жесткость и прочность модифицированной древесины.

Дополнительное намагничивание воды до анализа с окислительно-восстановительным потенциалом 800–900 Мв способствует активации водного геля НЦ, повышает степень полимеризации, что также способствует увеличению прочности модифицированной древесины.

Заготовки из древесины пропитывают полученным раствором с торца под давлением 0,4–0,5 МПа. После пропитки содержание карбамида в древесине составляет 15 % от массы сухой древесины, содержание КФК 1,5–2,4 % от массы сухой древесины, содержание НЦ 0,22–0,43 % от массы сухой древесины.

Далее заготовки высушивают при температуре 90 °С до влажности 10–15 %, после чего их прессуют поперек волокон под механическим давлением 5–0,6 МПа до степени уплотнения 15 % для березы и 25 % для осины и сушат в пресс-формах до влажности 4–5 %. Далее проводят термообработку при температуре 140 °С в течение трех часов.

Методика склеивания модифицированной древесины

Склеивание материалов находит применение во многих областях техники. В промышленности массивную древесину склеивают по длине, ширине и толщине, в результате чего получается клееная продукция определенного назначения с различными прочностными характеристиками [5,6].

С недавнего времени в России освоено производство наноцеллюлозы, которая способствует увеличению прочности бумаги в 10 раз. Использование нанодобавок позволяет получать материалы с улучшенными свойствами.

Для проведения испытаний образцы изготавливали из модифицированной древесины марки «Дестам» [3]. Количество образцов для каждого испытания должно быть не менее 5 шт. Точность и качество изготовления образцов должны соответствовать требованиям ГОСТ 16483.0–78. Образцы с видимыми пороками древесины по ГОСТ 2140-81 и дефектами склеивания испытаниям не подлежат.

В качестве клеев использовали карбамидоформальдегидную смолу ПКП-52 (холодного способа склеивания) и фенолоформальдегидную смолу СФЖ-3014 (горячего способа склеивания). Выбор данных смол основан на рассмотрении влияния добавки наноцеллюлозы на прочность клеевого шва при

использовании 2-х различных видов смол и способов их склеивания.

Так, при использовании карбамидоформальдегидной смолы ПКП-52 в нее добавляли необходимое количество наноцеллюлозы, тщательно все перемешивали и обрабатывали ультразвуком в течение 5 мин. Далее в полученный состав добавляли отвердитель – щавелевую кислоту в количестве 4 % [7,8].

При использовании фенолоформальдегидной смолы СФЖ-3014, кроме добавки наноцеллюлозы, использовали ПАВ (дрезинат калия) в количестве 6 % (для избежания расслоения), все тщательно перемешивали и обрабатывали ультразвуком в течение 5 мин.

Для определения влияния и необходимого количества наноцеллюлозы на прочность клеевого соединения образцов модифицированной древесины ее вводили в смолу перед началом обработки ультразвуком (УЗ) и импульсным магнитным полем (ИМП) в количестве 4, 8 и 12 %. Исходя из ряда проведенных экспериментов установили, что количество вводимой наноцеллюлозы в размере 8 % является достаточным для получения прочного клеевого соединения. Введение большего количества наноцеллюлозы существенного влияния на прочность при скалывании не оказывает.

После того как образцы и клеи были подготовлены, осуществляли процесс склеивания из расчета 150 г на 1 м² поверхности. Клей наносили с помощью кисти однократно. После нанесения клея на поверхность осуществляли выдержку в течение 5 мин для лучшей адгезии клея к древесине. После этого образцы соединяли между собой и выдерживали под давлением 1,6 МПа, чтобы сблизить склеиваемые поверхности и получить равномерный клеевой шов минимальной толщины. Время выдержки под давлением для смолы ПКП-52 при комнатной температуре 5 ч, для смолы СФЖ-3014 при температуре 120 °С 1ч. Далее осуществлялась обработка клеевого шва импульсным магнитным полем. Напряженность магнитного поля регулируется в пределах от 0 до 24·10⁴ А/м величиной тока

и расстоянием межполюсного пространства. Обработка производилась в течение 20 мин, за это время клеевая композиция достигает предела магнитного насыщения, что подтверждается проведенными экспериментальными данными [9,10].

Методика склеивания шпона при получении фанеры

Сырье – шпон древесины березы *Betula verrucosa* L. толщиной 1,5 мм, заготовленный в г. Цесис (Латвия);

Смола карбамидо-меламмно-формальдегидная Prefere со следующей характеристикой:

- плотность при 20°C -1,29г/см³;
- концентрация 67 %;
- вязкость при 20°C 43с;
- рН – 8,9;
- свободные формальдегиды 0,2 %;
- срок хранения при 20°C – 5 недель.

Отвердитель Prefere 24F782 плотность 550 кг/м³;

2 %-ный водный гель кристаллической наноцеллюлозы (НКЦ) со следующей характеристикой:

- исходное сырье: целлюлоза, выделенная из водной дисперсии WHISHERS методом сублимационной сушки;
 - концентрация гидрогеля – 2 %;
 - длина волокон 200-400нм;
 - ширина волокон – 10нм;
 - вязкость гидрогеля – 29с;
- Обработка ультразвуком:
- частота колебаний 21 кГц;
 - интенсивность колебаний 13 Вт/см²;
 - время обработки – 30с.

Приготовление клеящего состава с НКЦ.

В смолу добавлялось соответствующее количество 2 %-ного гидрогеля НКЦ, перемешивалась полученная смесь и обрабатывалась ультразвуком (УЗ). Так получалась концентрация НКЦ 0,4 и 0,8 % по отношению к массе сухой древесины. Для получения более высоких концентраций НКЦ на шпон с двух сторон наносилось соответствующее количество гидрогеля НКЦ, после чего лист

шпона подсушивался до первоначальной влажности.

Обработка импульсным магнитным полем:

- серия симметричных треугольных импульсов №1500-3000;
- длительность импульсов -10мкс;
- амплитуда колебаний В-0,3Тл;
- частота следования – 10ме;
- частота колебаний – 50Гц;
- напряженность поля -18·10⁴ А/м;
- время обработки – 60 с.

Базальтовая ткань:

- толщина слоя -0,4мм;
- количество слоев в пакете -9.

Смола СФЖ-3013 по ГОСТ 20907-75

Режим прессования фанеры без базальтовой ткани:

- количество слоев шпона -7;
- размеры образцов: 300х300мм;
- нанесение клея вручную;
- расход клея – 160г/см²;
- температура плит – 125±3°C;
- давление 2 ± 0,05МПа;

– продолжительность выдержки в прессе – 7 мин.

Режим прессования фанеры с базальтовой тканью:

- расположение слоев ткани относительно шпона – под верхним и над нижним слоями шпона;
- смола для склеивания базальтовой ткани – эпоксидная (препрег);
- смола для склеивания шпона – СФЖ-3013;
- нанесение клея – вручную;
- расход клея – 180 г/см²;
- температура 125±3°C;
- давление 2 ± 0,05МПа;
- продолжительность выдержки в прессе – 10 мин.

Обсуждение результатов

Было проведено 18 опытных запрессовок шпона с получением семислойной фанеры средней толщиной 9,4 мм и проведены ее испытания на предел прочности при скалывании по клеевому слою по ГОСТ 9624-93.

Характеристика модифицированной древесины
Characterization of modified wood

Характеристика материала и условия его получения	Степень прессования, %	Предел прочности при сжатии, МПа
Береза прессованная	15	80
Береза + КФК	15	92
Береза + КФК + НЦ	15	120
Береза+КФК+ НЦ+ активированная вода	15	135
Осина прессованная	25	72
Осина + КФК	25	91
Осина + КФК+НЦ	25	104
Осина + КФК+НЦ+активированная вода	50	120

После введения в древесину гидрогеля НКЦ, прессования и сушки получают модифицированную древесину, имеющую прочность при сжатии вдоль волокон 120–130 МПа и степень уплотнения 15 % для березы и 25 % для осины, т.е. использование предложенного способа позволяет снизить степень уплотнения в 2 раза по сравнению с известным способом, т.е. также повысить выход получаемого материала, как видно из таблицы.

Снижение степени прессования для березы с 30 до 15 % позволяет повысить выход модифицированной древесины на 15 %, т.е. с 1 м³ экономия составит 0,15 м³, 1000 м³ – 150 м³. При отпускной цене модифицированной древесины березы 30 тыс. руб за 1 м³ экономия составит 150 × 30 = 4500 тыс.руб.

Снижение степени прессования для осины с 50 до 25 % позволяет повысить выход модифицированной древесины на 25 %, т.е. с 1 м³ экономия составит 0,25 м³, с 1000 м³ – 250 м³. При отпускной цене модифицированной древесины осины 25 тыс. руб за 1 м³ экономия составит 250 × 25 = 6250 тыс.руб.

Выводы

1. Применение нанокристаллической целлюлозы в сочетании с магнитноимпульсным и ультразвуковым воздействием позволяет получить клееную модифицированную древесину, равнопрочную по всей длине и ширине. При этом предел прочности при ска-

лывании вдоль волокон достигает 10,5 МПа, что в 2,5 раза выше, чем при склеивании известными способами.

2. При активации НКЦ ультразвуком предел прочности по клеевому шву в сухом состоянии возрастает по сравнению с контрольным образцом на 16 %, а при добавочной обработке клеенной фанеры ИМП на 23 %. Общее среднее увеличение прочности при содеожании НБСЦ до 2 % с последующей обработкой ультразвуком и ИМП составило 50 %.

3. Замена двух слоев шпона на базальтовую ткань (9 слоев) под внешними слоями фанеры дало увеличение предела прочности по клею шву по сравнению с контрольным образцом 220 %.

Библиографический список

1. Обливин, А.Н. Нанотехнологии и наноматериалы в лесном комплексе: монография / А.Н. Обливин, М.В. Лопатников. – М.: МГУЛ, 2011. – 221 с.
2. Прошина, О.П. Наноцеллюлоза и получение бумаги на ее основе / О.П. Прошина, Г.Л. Олиференко, Ю.М. Евдокимов и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 7(90). – С. 112–114.
3. Шамаев, В.А. Применение наноцеллюлозы в процессах склеивания и модифицирования древесины / В.А. Шамаев, Н.С. Никулина, С.А. Константинова и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 8(91). – С. 107–110.
4. Ottner G.Die Fottentwicrlunq der Mahlung für Kurzfaser und Altpapierstoffe/Wochenblatt für Papicrfabrication, 2007, №5 – s.200-204.
5. Шамев, В.А. Модифицирование древесины: монография / В.А. Шамаев, Н.С. Никулина, И.Н. Медведев. – М. «Флинта» «Наука», 2013. – 445 с.
6. Kalsjn, H. AB Zorentzen & Wettre /Box 4, SF -164 93, Kista, Sweden. P.118

7. Паринов, Д.А. Давление набухания (напряжения) пресованной и модифицированной карбидом древесины, при увлажнении и высушивании / Д.А. Паринов, Р.В. Юдин, В.А. Шамаев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, 2014. – № 4. – Ч. 3(9-3). – С. 85–88.
8. Olsson, R. T.; Azizi Samir, M. A. S.; Salazar-Alvarez, G.; Belova, L.; Strm, V.; Berglund, L. A.; Ikkala, O.; Nogus, J.; Gedde, U. W. (2010). «Making flexible magnetic aerogels and stiff magnetic nanopaper using cellulose nanofibrils as templates». *Nature Nanotechnology* 5 (8): 584–8. Bibcode: 2010 NatNa...5..584O. doi:10.1038/nnano.2010.155. PMID 20676090.
9. Missoum, K.; Martoia, F.; Belgacem, M. N.; Bras, J. (2013). «Effect of chemically modified nanofibrillated cellulose addition on the properties of fiber-based materials». *Ind. Crops Prod.* 48: 98–105. doi:10.1016/j.indcrop.2013.04.013.
10. Постников, В.В. Ультразвуковая пластификация лигнина в модифицированной древесине / В.В. Постников, Н.С. Камелова, С.В. Кальченко // Известия РАН. Серия физическая. – 2010. – Т 74. – № 9. – С. 1375–1376.

COMPOSITE PLYWOOD WITH ADDITION NANOCELLULOSE

Shamaev V.A., Prof. VSFEU, Dr. Sci. (Tech.) ⁽¹⁾; Parinov D.A., pg. VSFEU ⁽¹⁾

drevstal@mail.ru, dmitryparinov@mail.ru

⁽¹⁾ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russia, 394087 Voronezh, st. Timiryazeva 8.

The process of activation of the hydrogel from nanocrystalline cellulose (NCC) with ultrasound and pulsed magnetic field has been investigated. The addition of the activated NCC into fenoloformaldnye and urea-formaldehyde resin increases twice the strength of a glue joint when bonding and when gluing plywood by 1,5 times. If NCC hydrogel is magnetized, when pH changes from 7 to 4.5, it increases the wood strength by 1.8 times if the NCC hydrogel content in the wood is 15 %. The activated nanocrystalline cellulose shows the properties inherent of all classical nanomaterials, i.e., at the moment of the phase transition it forms some active centers at which the curing composition forms a stronger crystal lattice, resulting in a significantly increased strength of the solid phase. After applying the NCC hydrogel on wood, the processes of pressing and drying deal with a modified wood having a compressive strength along fibers of 120 – 130 MPa and a degree of compaction of 15 % for birch and 25 % for aspen, i.e., the use of the proposed method reduces twice the degree of compaction. The use of the nanocrystalline cellulose in combination with magnetic pulsed and ultrasound treatments makes it possible to obtain a modified glued wood with a uniform strength over the entire length and width of a product. In this case the shear strength along fibers reaches 10.5 MPa, which is 2.5 times higher than with known gluing techniques. When NCC activated by ultrasound, the strength limit along the glued line increases as compared with the control sample by 16 % in the dry state and with an additional treatment of glued plywood with PMF (pulsed magnetic field) by 23 %. The total average increase in strength at the NCC content in hydrogel upto 2 %, if followed by ultrasound and PMF treatments, was 50 %.

Keywords: strength, nanomaterials, gel, plywood, adhesives, wood, gluing, ultrasound, pulsed magnetic field (PMF).

References

1. Oblivin A.N., Lopatnikov M.V. *Nanotekhnologii i nanomaterialy v lesnom komplekse* [Nanotechnology and nanomaterials in the forest complex]. Monograph. Moscow, MSFU, 2011, 221 p.
2. Proshina O.P., Oliferenko G.L., Evdokimov Yu.M., Ivankin A.N. *Nanotsellyuloza i poluchenie bumagi na ee osnove* [Nano-cellulose and paper production on its basis]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2012, №7 (90), pp. 112-114.
3. Shamaev V.A., Nikulina N.S., Konstantinova S.A., Medvedev I.N. *Primenenie nanotsellyulozy v protsessakh skleivaniya i modifitsirovaniya drevesiny* [Application of nano-cellulose in the processes of bonding and modification of wood]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2012, №8 (91), pp. 107-110.
4. Ottner G. *Die Fottentwicrlunq der Mahlung für Kurzfaser und Altpapierstoffe/Wochenblatt für Papierfabrication*, 2007, №5, pp. 200-204.
5. Shamaev V.A., Nikulina N.S., Medvedev I.N. *Modifitsirovanie drevesiny* [Modification of wood] Moscow. Flint Publ, «Science», 2013, 445p.
6. Kalsjn H. AB Zorentzen & Wettre /Box 4, SF -164 93, Kista, Sweden. pp. 118
7. Parinov D. A., Yudin R. V., Shamaev V. A. *Davlenie nabukhaniya (napryazheniya) pressovannoy i modifitsirovannoy karbidom drevesiny, pri uvlazhnenii i vysushivani* [The swelling pressure (voltage) and the modified carbide molded wood when wetting and drying] *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika : sbornik nauchnykh трудов по materialam mezhdunarodnoy zaочноy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Recent research trends of the XXI century: Theory and Practice: A Compilation scientific papers based on international correspondence scientific-practical conference] Voronezh, 2014. – number 4, Part 3 (9-3). pp. 85-88.
8. Olsson, R. T.; Azizi Samir, M. A. S.; Salazar-Alvarez, G.; Belova, L.; Strm, V.; Berglund, L. A.; Ikkala, O.; Nogus, J.; Gedde, U. W. (2010). «Making flexible magnetic aerogels and stiff magnetic nanopaper using cellulose nanofibrils as templates». *Nature Nanotechnology* 5 (8): 584–8. Bibcode : 2010 NatNa...5..584O. doi:10.1038/nnano.2010.155. PMID 20676090.
9. Missoum, K.; Martoia, F.; Belgacem, M. N.; Bras, J. (2013). «Effect of chemically modified nanofibrillated cellulose addition on the properties of fiber-based materials». *Ind. Crops Prod.* 48: 98–105. doi:10.1016/j.indcrop.2013.04.013.
10. Postnikov V.V., Kamelova, N.S., Kal'chenko S.V. *Ul'trazvukovaya plastifikatsiya lignina v modifitsirovannoy drevesine* [Ultrasonic plasticized lignin modified wood] *Izvestiya RAN. Seriya fizicheskaya* [Izvestiya RAN.: Physics]. Moscow, 2010. 74 m, № 9. pp. 1375-1376.

УДК 674.816.3

ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С НАПОЛНИТЕЛЯМИ ИЗ ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

А.Е. ШКУРО, доц., УГЛТУ, канд. техн. наук⁽¹⁾,
В.В. ГЛУХИХ, проф., УГЛТУ, д-р техн. наук⁽¹⁾,
Н.М. МУХИН, доц., УГЛТУ, канд. техн. наук⁽¹⁾

zj@weburg.me, vvg@usfeu.ru, nik_muchin@mail.ru

⁽¹⁾ Уральский государственный лесотехнический университет
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37

В данной работе рассматриваются вопросы применения отходов растительного происхождения в качестве наполнителей для древесно-полимерных композитов с термопластичными полимерными матрицами (ДПКт). Были исследованы образцы шлифовальной пыли фанеры и древесных плит, денежной макулатуры, опила продольной резки, шелухи риса, пшеницы и овса, а так же соломы овса. В качестве полимерных матриц использовались полиэтилен высокой плотности и полипропилен. Смешение компонентов ДПКт производилось методом экструзии. Были испытаны следующие физико-механические свойства полученных композитов: показатель текучести расплава, твердость по Бринеллю, ударная вязкость с надрезом и без, относительное удлинение и предел прочности при растяжении, предел прочности при изгибе, модуль упругости и водопоглощение за 24 часа. Полученные данные показывают, что композиты с сельскохозяйственными отходами значительно уступают ДПКт с древесной мукой по показателям твердости и контактного модуля упругости. Рассматриваемые композиты также обладают значительно меньшей водостойкостью. По показателям предела прочности при изгибе и ударной вязкости композиты с шелухой пшеницы и соломой овса приближаются к эталону на основе полиэтилена и древесной муки. Наиболее высокими показателями эксплуатационных свойств обладает композит с древесным опилом продольной резки.

Ключевые слова: древесно-полимерные композиты, наполнители, отходы, состав, свойства.

Основным типом наполнителя в производстве древесно-полимерных композитов с термопластичными полимерными матрицами (ДПКт) традиционно является древесная мука различных пород древесины [1–3]. Древесная мука получается путем сухого механического размола древесины и не является побочным продуктом обработки древесины. Большое число исследований посвящено изучению возможности замены древесной муки на более дешевые наполнители растительного происхождения [4] и различного вида отходы.

Альтернативные древесной муке наполнители можно условно разделить на две большие группы: древесные и недревесные. К древесным наполнителям растительного происхождения относятся древесная мука, древесный опил, древесная стружка, древесные и целлюлозные волокна и другие древесные частицы. К недревесным наполнителям относят водоросли, различные кустарники, травы, плоды, шелуху злаков, скорлупу орехов и т.д. Сообщается о получении композитов, наполненных измельченными стеблями конопли, банановой мукой, бамбуковой мукой, водорослями зостера, волокнами джута и кенафа,

шелухой семян и соломой различных злаковых растений. Наполнители недревесного типа имеют ряд преимуществ: кустарники и травы быстрее восстанавливаются по сравнению с деревьями, в большинстве случаев недревесные наполнители более склонны к биоразложению и более экологичны [5–10].

Это далеко не полный список недревесных наполнителей растительного происхождения, и он продолжает расширяться. Целью данной работы является изучение возможности получения и свойств ДПКт с полиэтиленовой и полипропиленовой матрицами при использовании в качестве наполнителей различных отходов деревообработки и сельского хозяйства: древесной пыли, образующейся при шлифовании фанеры, макулатуры и опила продольной резки.

Экспериментальная часть

В качестве полимерной матрицы ДПКт использовались полиэтилен низкого давления марки 273-83 (ГОСТ 16338-85) производства ОАО «Казаньоргсинтез» (ПЭНД) и полипропилен марки 21030-16, предоставленный ОАО «СЗТТ» (г. Екатеринбург). В качестве напол-

Характеристика древесных наполнителей
Characteristics of wood fillers

Параметр	ДМ	ШПФ	ШПДп	Опил продольной резки/ полипропилен
Породный состав древесины (массовая доля основной породы)	Сосна ($\geq 95\%$)	Береза (100%)	Смесь лиственных и хвойных пород (50:50)	Сосна ($\geq 95\%$)
Цвет	Светло-коричневый	Белый	Светло-коричневый	Светло-коричневый
Абсолютная влажность, %	8,0	6,4	5,0	10,4
Массовая доля остатка, %, на сетке				
025	0	74,2	51,4	42,3
018	1,1	23,6	31,6	8,35
0125	15,0	0,1	11,3	1,94
Массовая доля золы, %	0,60	0,42	1,05	–
Средние арифметические значения ($n = 50$) линейных размеров древесных частиц, мкм				
длина	211	152	386	–
ширина	52	33	59	–
Коэффициент формы [1]	4,1	4,6	6,6	–

нителю применялась древесная мука хвойных пород марки 180 (ГОСТ 16361-87), производитель ООО «Юнайт» (ДМ), древесная пыль, собранная при шлифовании лицевой поверхности березовой фанеры в ЗАО «Фанком» (ШПФ) и древесностружечных плит в ООО «Первая лесопромышленная компания» (ШПДп), мука, полученная в лабораторных мельницах при измельчении газетной макулатуры (МГ) и специальной макулатуры из бумажных денежных знаков, выведенных из обращения (МД), опил продольной резки, предоставленный ООО «Первая лесопромышленная компания» (г. Алапаевск). Краткая характеристика наполнителей древесного происхождения приведена в табл. 1.

Сельскохозяйственные отходы: шелуха пшеницы и овса, солома овса и пшеницы (рисунок), – были предоставлены учебно-опытным хозяйством Уральского государственного аграрного университета (УрГАУ, г. Екатеринбург). Перед использованием отходы сельского хозяйства не подвергались дополнительно измельчению и фракционированию.

В качестве смазывающих агентов применяется стеариновая кислота техническая марки Т-32 (ГОСТ 6484-96) и окисленный полиэтилен (ОРЕ). Поставщик ООО «РусхимНефть».

Массовое соотношение между наполнителем и полимерной матрицей составляло

50:50. Содержание смазывающих агентов в полимерной матрице варьировалось от 3 до 6 % от массы полимера. Смешение компонентов ДПКт производилось на лабораторном экструдере марки ЛЭРМ-1 при температуре 180–190 °С. Полученная после экструдирования древесно-полимерная смесь охлаждалась до комнатной температуры, а затем нарезалась на гранулы. После этого методом горячего прессования из ДПС при температуре 190 °С и давлении 15 МПа получали композиты в форме дисков диаметром 90 и толщиной 5 мм или пластин размером 150×100×5 мм.

Из полученных композитов изготавливались образцы (не менее трех для каждого состава) для испытаний физико-механических свойств полученных ДПКт.

Показатель текучести расплава (ГОСТ 11645-73) используемых в работе ПЭНД и полученных ДПС определялся на приборе ИИРТ-А (ГОСТ 11645-73) при внутреннем диаметре капилляра 2,095 и 4 мм.

Твердость по Бринеллю (H_B) и контактный модуль упругости (KMU) образцов определяли на твердомере модели БТШПСИ У42 по вдавливанию шарика диаметром 5 мм при нагрузке 132 Н.

Для определения ударной вязкости ДПКт (a) готовились образцы размером 15×10 мм. Для определения ударной вязкости



Рисунок. Образцы сельскохозяйственных отходов (а – шелуха риса, b – солома овса, c – шелуха пшеницы, d – шелуха овса)
 Figure. Samples of agricultural waste (a – rice husk, b – oat straw, c – wheat husks, d – oat husks)

с надрезом (a_n) поперек образца композита плотно для резки металлов наносился надрез шириной 0,7 мм на глубину 1,5 мм. Испытания проводились на приборе «Динстат-Дис».

Для определения показателя прочности при изгибе (σ_u) готовились образцы с длиной и шириной 15×10 мм. Испытания проводились на приборе «Динстат-Дис» при консольном закреплении образца.

Определение относительного удлинения при растяжении (E) и предела прочности при разрыве (σ_p) образцов производилось на разрывной машине для испытания пластмасс модели 2166 Р-5 (точность измерения усилия 0,1 Н, скорость нагружения 50 мм/мин). Образцы ДПКт готовили в виде лопаточек с длиной 100 мм и шириной рабочей части 6 мм.

Для изучения линейных размеров древесных наполнителей методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) использовался растровый электронный микроскоп марки JSM-6390LA (JEOL, Япония), допол-

нительно снабженный приставкой EDAX (энергодисперсионный анализатор характеристического рентгеновского излучения).

Анализ результатов

Зависимости десятичных логарифмов сдвиговой вязкости смесей древесной муки, макулатуры и шлифовальной пыли с полиэтиленом (η , Па·с) от десятичных логарифмов скорости сдвига (γ , с⁻¹) при температуре 185°С в области невысоких напряжений сдвига (порядка 20 Па) описываются следующими линейными уравнениями (с коэффициентом аппроксимации R^2):

$$\begin{aligned} \log \eta_{DM} &= 1,0038 - 0,4357 \log \gamma (R^2 = 0,99); \\ \log \eta_{MG} &= 1,2023 - 0,5299 \log \gamma (R^2 = 0,99); \\ \log \eta_{MD} &= 1,1995 - 0,539 \log \gamma (R^2 = 0,99); \\ \log \eta_{ШПФ} &= 1,3726 - 0,9472 \log \gamma (R^2 = 0,99); \\ \log \eta_{ШПОН} &= 2,2374 - \log \gamma (R^2 = 0,99). \end{aligned}$$

Из этих зависимостей следует, что исследованные ДПС по реологическим свойствам относятся к неньютоновским жидкостям.

Физико-механические свойства образцов ДПКт
Physical and mechanical properties of WPC samples

Показатели свойств композита	Наполнитель								
	ДМ	ШПф	ШПдп	МГ	МД	Опил продольной резки*	Шелуха овса	Шелуха пшеницы	Солома овса
Плотность, кг/м ³	1062	1104	1047	1169	1090	–	–	–	–
Предел прочности при растяжении (σ_p), МПа	11,9	15,2	12,0	9,5	11,7	7,9	–	–	–
Предел прочности при изгибе (σ_u), МПа	22,2	35,9	22,3	17,3	25,7	36,0	14,9	19,6	19,3
Контактный модуль упругости (КМУ), МПа	785	538	949	560	776	728	390	313	271
Относительное удлинение (E), %	2	3	4	10	9	–	–	–	–
Твердость по Бригеллю (H_B), МПа	85	56	75	47	62	59	39	32	28
Ударная вязкость, кДж/м ² : без надреза (a) с надрезом (a_n)	4,8 4,2	6,7 5,8	3,4 3,4	5,8 4,0	6,4 5,6	2,6 1,7	4,8 7,9	4,5 5,9	4,8 7,5
Водопоглощение за 24 ч, %	5,6	3,8	4,9	3,4	0,5	2,0	7,1	5,7	6,7

*Примечание: композит с опилом получен с использованием полипропилена в качестве полимерной матрицы

При этом ДПС с мукой из макулатуры и шлифовальной пылью фанеры имеют большее значение сдвиговой вязкости по сравнению со смесью с березовой древесной мукой.

Средние арифметические значения показателей физико-механических свойств образцов полученных ДПКт представлены в табл. 2.

Из данных табл. 2 следует, что ДПКт с наполнителем из денежной макулатуры по всем показателям (за исключением относительного удлинения) превосходит композит с древесной мукой. Композит с наполнителем из газетной макулатуры, несмотря на более высокую плотность, уступает ДПКт с древесной мукой по показателям механической прочности, твердости и водопоглощения, превосходя его по относительному удлинению. Композит со шлифовальной пылью древесностружечных плит по большинству физико-механических свойств не уступает композиту с древесной мукой, а ДПКт с шлифовальной пылью фанеры заметно превосходит этот композит по показателям прочности

при изгибе и растяжении, ударной вязкости, водопоглощению.

Полученные данные показывают, что композиты с сельскохозяйственными отходами значительно уступают ДПКт с древесной мукой по показателям твердости и контактного модуля упругости. Рассматриваемые композиты также обладают значительно меньшей водостойкостью. По показателям предела прочности при изгибе и ударной вязкости композиты с шелухой пшеницы и соломы овса приближаются к эталону на основе полиэтилена и древесной муки.

Композит на основе полипропилена и древесного опила показал наиболее высокое значение предела прочности при изгибе (36 МПа). В то же время он обладает достаточной низкой ударной прочностью (вязкостью).

З а к л ю ч е н и е

Полученные результаты исследований показывают возможность замены древесной муки в ДПКт на альтернативные наполнители древесного и недревесного происхождения.

Композиты с наполнителями древесного происхождения, являющиеся побочными продуктами деревообработки, демонстрируют высокие значения показателей физико-механических свойств и в целом не уступают композитам с традиционно применяемой древесной мукой. Следует отметить, что композит со шлифовальной пылью фанеры обладает самой высокой прочностью при изгибе из рассмотренных композитов с полиэтиленовыми полимерными матрицами. Образцы ДПКт с денежной мукой характеризуются значительной водостойкостью (0,5 % водопоглощения за 24 часа) и могут быть рекомендованы к использованию в условиях повышенной влажности.

Композиты с наполнителями недревесного происхождения уступают по физико-механическим свойствам ДПКт с древесной мукой в качестве наполнителя. Из рассмотренных в работе отходов сельского хозяйства наиболее вероятной заменой древесной муки представляется шелуха пшеницы. Композит с этим наполнителем обладает близкими к эталону показателями прочности при изгибе и водопоглощением за 24 часа. Главными недостатком наполнителей недревесного происхождения является их невысокая водостойкость. Данная проблема может быть решена подбором необходимых модифицирующих добавок.

Библиографический список / References

1. Клесов, А.А. Древесно-полимерные композиты / А.А. Клесов. – СПб: Научные основы и технологии, 2010. – 736 с.
2. Dikobe, D. G. Effect of filler content and size on the properties of ethylene vinyl acetate copolymer-wood fiber composites / Dikobe D. G., Luyt A. S. // J. Appl. Polym. Sci. – 2007. – V. 103. – P. 3645-3654.
3. Dikobe, D. G. Effect of poly(ethylene-co-glycidyl methacrylate) compatibilizer content on the morphology and physical properties of ethylene vinyl acetate-wood fiber composites / D.G.Dikobe, A.S.Luyt // J. Appl. Polym. Sci. – 2007. – V. 104. – P. 3206-3213.
4. Глухих, В.В. Получение, свойства и применение биоразлагаемых древесно-полимерных композитов (обзор) / В.В. Глухих, А.Е. Шкуро, Т.А. Гуда и др. // Вестник Казанского технологического университета. Glukhikh V.V., Shkuro A.E., Guda T.A. *Poluchenie, svoystva i primeneniye biorazlagayemykh drevesno-polimernykh kompozitov (obzor)* [Preparation, properties and applications of biodegradable wood-plastic composites (review)]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta.
5. Petchwattana N. Effects of Rice Hull Particle Size and Content on the Mechanical Properties and Visual Appearance of Wood Plastic Composites Prepared from Poly(vinyl chloride)/ N.Petchwattana, S. Covavisaruch// Journal of Bionic Engineering – 2013. – P. 110-117.
6. Yan L. Flax fibre and its composites/ L. Yan, N. Chouw, K. Jayaraman // Composites: Part B – 2014. – P. 296-317
7. Kengkhetkit N. A new approach to “Greening” plastic composites using pineapple leaf waste for performance and cost effectiveness/ N. Kengkhetkit, T. Amornsakchai // Materials and Design – 2014. – P. 292-299.
8. Binhussain M. A. Palm leave and plastic waste wood composite for outdoor structures /M. A. Binhussain, M. M. El-Tonsy// Construction and Building Materials – 2013. – P. 1431-1435.
9. Bajwaa G. Properties of thermoplastic composites with cotton and guayule biomass residues as fiber fillers/ G. Bajwaa// Industrial Crops and Products – 2011.– P. 747–755.
10. Bruno D. M. Properties of polypropylene composites filled with a mixture of household waste of material and wood particles/ Bruno D. Mattos// Construction and Building Materials – 2014. – P. 60–68.

PREPARATION AND PROPERTIES OF WOOD-PLASTIC COMPOSITES WITH VEGETABLE WASTE FILLERS

Shkuro A.E., Assoc. Prof. USFEU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; Glukhikh V.V., Prof. USFEU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; Mukhin N.M., Assoc. Prof. USFEU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾

zj@weburg.me, vvg@usfeu.ru, nik_muchin@mail.ru

⁽¹⁾ Ural State Forestry University, 620100, Ekaterinburg, Russia, Sibirsky tract, 37

In this paper the application of vegetable origin waste as fillers for wood-plastic composites (WPC) with a thermoplastic polymer matrix has been studied. The samples of sanding dust and plywood board dust, monetary waste paper, slitting sawdust, rice husk, wheat and oat hull, as well as oat straw were investigated. The high density polyethylene and polypropylene have been used to make the polymer matrix. Mixing the WPC components has been produced by extrusion. The following physical and mechanical properties of the composites such as the melt index, Brinell hardness, impact strength with notch and without it, the elongation at break and the tensile strength, the flexural strength, the modulus of elasticity and the water absorption after 24 hours, have been tested. The data show that the composites produced with using agricultural waste are significantly inferior to WPC produced with using wood flour in terms of hardness and the interface modulus of elasticity. The composites under consideration have a much lower resistance to water as well. In terms of flexural strength and toughness, the composites produced with using wheat husk and oat straw are close to the sample on the basis of polyethylene and wood flour. A composite with wood sawdust slitting has the highest rate of performance.

Keywords: wood plastic composites, fillers, waste composition, performance.

ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ МОРЕНЫЙ ДУБ

А.А. КОСАРИН, доц., МГУЛ, канд. техн. наук⁽¹⁾,
Г.Н. КУРЫШОВ, доц., МГУЛ, канд. техн. наук⁽¹⁾

kosarin@mgul.ac.ru, kurishov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Древесина мореного дуба – это уникальный эксклюзивный природный материал, имеющий широкую цветовую гамму. Физико-механические свойства древесины мореного дуба также могут существенно отличаться в зависимости от зоны добычи данной древесины и времени ее нахождения под водой. Стоимость мореного дуба в десятки раз выше стоимости обычного черешчатого дуба, что создает предпосылки для исследований в области получения материала, внешне похожего на мореную древесину. В Московском государственном университете леса проводятся исследования по данному вопросу. Отработана технология пропитки, в результате которой древесина приобретает внешний вид древесины мореного дуба и при этом сохраняет физико-механические свойства древесины дуба черешчатого, за исключением усушки и разбухания. Приведены результаты испытаний на прочность при сжатии вдоль волокон, прочность при статическом изгибе и статическую твердость для древесины природного мореного дуба, добытого в Брянской области, индустриального мореного дуба и дуба черешчатого, не подвергнутого глубокой пропитке. Было выявлено, что механические свойства древесины «индустриального мореного дуба», незначительно отличаясь от свойств этого же дуба, не подвергнутого глубокой пропитке, превышают показатели данных свойств для древесины ископаемого «мореного дуба», не уступая последнему в цвете.

Ключевые слова: мореный дуб, физико-механические свойства древесины дуба черешчатого, индустриальный мореный дуб

Мореным дубом называют стволы дуба, извлеченные из русел рек или береговых наносов, где они пролежали несколько сотен или даже тысяч лет [1].

Ботаническое название мореного дуба – *Quercus redunculta* Ehrh, международное коммерческое название – *Vog oak*.

Древесина мореного дуба – уникальный материал (рис. 1), имеющий широкую цветовую гамму, от угольного с синевато-фиолетовым оттенком до коричневатого с контрастными вкраплениями.

Изменение цвета древесины дуба происходит в результате химической реакции между дубильными веществами и солями железа, растворенными в воде. Цветовой оттенок зависит от концентрации и количества содержащихся в воде солей и продолжительности пребывания древесины под водой. Чем дольше пролежала древесина, тем темнее у нее окраска. Физико-механические свойства древесины мореного дуба также зависят от возраста этого материала. Физико-механические свойства древесины мореного дуба тоже зависят от возраста этого материала [2]. Показатели ее механических свойств заметно ниже, чем у древесины натурального дуба. Это же под-

тверждают результаты исследования, проведенные Ваниным С.И. [3].

Мореный дуб – очень дорогой эксклюзивный материал, стоимость которого в десятки раз выше стоимости обычного черешчатого дуба. Поиск, добыча, сушка и разделка древесины доступны в наше время лишь опытным специалистам. Это очень сложный и длительный процесс, требующий больших трудозатрат и ресурсов. Предварительно делаются фотографии методом аэрофотосъемки с целью определения мест, где русло реки изменило свое направление вследствие размыва. Перед началом разработки специалисты исследуют несколько десятков километров русла реки, анализируют особенности берегов, скорость течения, глубину и состояние дна. Обычно добыча ведется на глубине 4–6 м, в редких случаях – до 30 метров. После обнаружения аквалангистами затонувших стволов дуба их вытаскивают на поверхность современными техническими средствами. Далее сырье транспортируется, сортируется и классифицируется по цвету и структуре. Ствол дуба должен быть распилен и обработан в течение нескольких дней, так как в противном случае он становится непригоден для дальнейшей переработки.



Рис. 1. Ископаемый моренный дуб
Fig. 1. Fossil stained oak

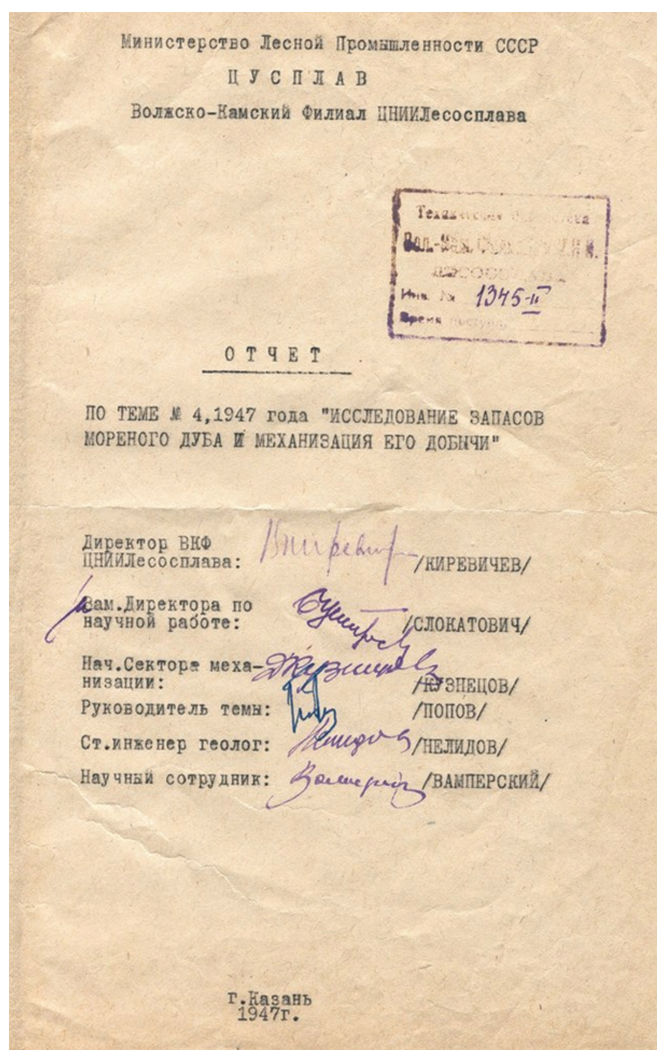


Рис. 2. Документ от 1947 г.
Fig. 2. The document from 1947



Рис. 3. Индустриальный мореный дуб
Fig. 3. Industrial stained oak

Высокая себестоимость производства связана с тем, что пригодным для дальнейшего использования остается лишь минимальный процент от добытой биомассы дерева.

В Советской России предпринимались попытки по организации добычи мореного дуба в Мордовской АССР (рис. 2). С данной целью в г. Саранске была создана Республиканская Контора по добыче мореного дуба. В апреле 1947 года на коллегии Министерства лесной промышленности СССР обсуждался доклад «Исследование запасов мореного дуба и механизация его добычи», на которой присутствовали члены специально созданной по этому вопросу комиссии. Однако в феврале 1948 года постановлением партии и правительства СССР процесс добычи и обработки мореного дуба был признан нерентабельным, вследствие чего Саранская Республиканская контора была упразднена.

В связи с данными обстоятельствами и с учетом других недостатков ископаемого мореного дуба российскими [4, 5] и зарубежными исследователями ведутся работы по получению искусственного материала, похожего на мореный дуб. Во МГУЛ аналогичные ис-

следования проводились авторами с конца 90-х годов под руководством проф. Расева А.И. На кафедре была разработана технология производства индустриального мореного дуба. В основу технологии были положены физические и химические процессы, имеющие место при образовании мореного дуба в природе. Ее особенности состоят в том, что эти процессы ускорены в сотни и тысячи раз.

Полученный материал (рис. 3) по своим физико-механическим свойствам, за исключением величины усушки, мало отличается от соответствующих показателей натурального дуба.

При соблюдении технологических режимов получения индустриального мореного дуба полностью сохраняется насыщенный цветовой тон вне зависимости от места произрастания исходного сырья.

Расход такой древесины на то или иное изделие полностью соответствует расходу на него натуральной не мореной древесины.

Основы технологии производства индустриального мореного дуба

Получение «индустриального» мореного дуба (в дальнейшем просто «мореного

Таблица 1

Древесина дуба	Усушка, максимальная		Плотность базисная, кг/м ³	Плотность абсолютно сухой древесины кг/м ³
	Радиальная	Тангенциальная		
Мореный ископаемый (Брянский область)	–	21,56	467	608
Индустриальный мореный	11,96	22,62	530	784
Натуральный (парные образцы)	4,88	8,76	562	648

Таблица 2

Древесина дуба	$W_{\text{ср}}^{\text{факт}}$, %	$\sigma_{\text{ср}}^{\text{факт}}$, МПа	$\sigma_{12}^{\text{расчетн}}$, МПа
Мореный ископаемый	11,4	42,79	40,1
Мореный индустриальный	15,4	48,5	54,97
Натуральный (парные образцы)	15,3	53,0	60,2

дуба») базируется на следующих физических и химических процессах. Древесина дуба пропитывается раствором солей железа на полную глубину заготовки. При пропитке сырой древесины этот процесс проходит в основном за счет диффузии ионов железа под действием градиента концентрации раствора. Пропитка сухой древесины осуществляется преимущественно под действием градиента давления за счет эффекта «прогрев-холодная ванна» путем многократного повторения циклов «нагрев-охлаждение». Определенное влияние на интенсивность процесса в этом случае оказывают диффузионные процессы, равно как и эффект «прогрев-холодная ванна» при пропитке сырой древесины.

Ионы железа реагируют с дубильными веществами древесины дуба. В результате получается стойкий цвет, приближающийся к черному. Цветовой тон определяется концентрацией применяемого раствора и используемой соли. Существенное ускорение процесса достигается применением растворов повышенной концентрации и температуры.

Часть солей, пропитавших древесину и прореагировавших с дубильными веществами, остается в полостях клеток. Она оказывается не связанной с древесинным веществом. Впоследствии, после сушки обработанной древесины и ее отделки водорастворимыми лаками, эти соли растворяются в воде, что проявляется в виде разводов на границе с более светлой древесиной, например, при производстве художественного паркета.

По данной причине обработанная солями железа древесина дополнительно пропитывается специальными солями, закрепляющими ту часть солей, которая не связана с древесным веществом. Пропитка осуществляется диффузией совместно с движением раствора за счет эффекта «нагрев-холодная ванна».

Таким образом, для реализации процесса получения индустриального мореного дуба требуется достаточно простое оборудование. Оно состоит из обогреваемых ванн, имеющих систему циркуляции раствора, элементарного узла приготовления растворов, насосов для перекачки жидкостей, ванн для промывки обработанной древесины.

Обработка древесины осуществляется в пакетах. Пакеты формируются горизонтальными рядами на прокладках и укладываются в специальные контейнеры.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ДУБА

Анализ проводился по методу парных образцов из древесины, используемой для изготовления индустриального мореного дуба [6].

Физические свойства древесины дуба. Одним из основных показателей физических свойств древесины является ее плотность. Этот показатель определяет прочностные и влажностные характеристики древесины, величину ее усушки и разбухания [7].

Т а б л и ц а 3

Древесина дуба	W_{cp} , %	$\sigma_{cp}^{факт}$, МПа	$\sigma_{12}^{расчетн}$, МПа
Мореный ископаемый	14,1	64	69,2
Мореный индустриальный	16,3	101,4	119,3
Натуральный (парные образцы)	15,6	118,5	135,7

Т а б л и ц а 4

Древесина дуба	W_{cp} , %	МПа	H_{cm}^{12} , МПа
Мореный ископаемый	9,6	26,4	24,3
Мореный индустриальный	13,64	51,03	53,53
Натуральный (парные образцы)	13	48,89	50,35

Полученные данные по основным физическим свойствам древесины дуба представлены в табл. 1.

Механические свойства древесины дуба 1. Прочность при сжатии вдоль волокон [8]

Данный показатель определялся при испытании образцов, имеющих вид прямоугольной призмы. Основание призмы соответствует базисному сечению 20×20 мм, высота – 30 мм. Фактические поперечные размеры a и b определялись с погрешностью 0,1 мм на уровне половины высоты образца. Образец нагружали равномерно с постоянной скоростью роста нагрузки так, чтобы разрушение произошло через 1,0 мин с момента начала нагружения. По шкале силоизмерителя отсчитывали максимальную нагрузку P_{max} , H в момент разрушения образца. Предел прочности σ_w , МПа, вычисляли по формуле

$$\sigma_w = P_{max} / av.$$

Сводные данные по прочности при сжатии вдоль волокон приведены в табл. 2.

Приведенная прочность при сжатии вдоль волокон у древесины индустриального мореного дуба снизилась по сравнению с натуральным примерно на 4,5 %, однако она существенно выше, чем у ископаемого.

2. Прочность при статическом изгибе [9]

Прочность при статическом изгибе является одной из важнейших механических характеристик древесины. Для испытания были взяты образцы размером 20×20×300 мм. После измерения ширины образца (b) в радиальном и высоты (h) в тангенциальном направлениях его располагали на двух опорах, расстояние между которыми равнялось 240 мм. Образец

нагружали в одной точке посередине пролета. По шкале силоизмерителя определяли максимальную нагрузку $P_{max}(H)$ и вычисляли предел прочности в МПа по формуле

$$\sigma_w = 3P_{max} / 2bh^2.$$

Сводные усредненные данные прочности при статическом изгибе представлены в табл. 3.

Приведенная прочность при статическом изгибе у древесины индустриального мореного дуба ниже по сравнению с натуральной древесиной примерно на 15 %, однако значительно выше, чем у ископаемого (примерно в 1,7 раза).

4. Статическая твердость [10]

Испытания проводились по стандартной методике. Твердость определялась на радиальной и тангенциальной поверхности образцов размером 50×25 мм и длиной вдоль волокон 50 мм. Вдавливание пуансона проводили в течение 1,5 мин на глубину 5,64 мм, что устанавливалось по показаниям индикатора. В конце нагружения по шкале силоизмерителя отсчитывали нагрузку P и H и определяли статическую твердость по формуле

$$H_w^c = P / \pi r^2.$$

Сводные данные статической твердости приведены в табл. 4.

Приведенная статическая твердость у древесины индустриального мореного дуба выше, чем у необработанной древесины примерно на 4%. Статическая твердость древесины ископаемого мореного дуба ниже, чем древесины мореного индустриального дуба более, чем вдвое.

В заключение следует отметить, что механические свойства древесины «индус-

триального мореного дуба» незначительно отличаются от свойств этого же дуба, не подвергнутого глубокой пропитке, и превышают показатели этих же свойств для древесины ископаемого «мореного дуба».

Библиографический список

1. Расев, А.И. Производство индустриального мореного дуба / А.И. Расев, А.А. Косарин // *Деревообработка*, 2009. – № 2. – С. 18–20.
2. Лаптев, Ю.В. Исследование физико-механических свойств древесины мореного дуба: журнал Актуальные проблемы лесного комплекса / Ю.В. Лаптев, А.В. Савченков, Е.А. Свиридова. – БГИТА (Брянск), 2012. – № 32. – С. 86–89.
3. Ванин, С.И. О физико-механических свойствах древесины мореного дуба / С.И. Ванин // *Труды лесотехнической академии им. Кирова*, Вып. 5. – Л.: ЛТА им. Кирова, 1935. С. 63–79.
4. Шамаев, В.А. Модифицирование древесины: учебное пособие / В.А. Шамаев. – Воронеж: ВГЛА, 2006. – 386 с.
5. Сафин, Р.Р. Термомодифицирование древесины в среде топочных газов / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Е.Ю. Разумов, Н.А. Оладышкина // *Вестник МГУЛ–Лесной вестник*, 2010. – № 4. – С. 95–98.
6. Уголев, Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение: учебник для вузов, / Б.Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2007. – 351 с.
7. ГОСТ 16483.35–88 Древесина. Метод определения разбухания.
8. ГОСТ 16483.10–73 Древесина. Метод определения предела прочности при сжатии вдоль волокон.
9. ГОСТ 16483.3–84 Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе.
10. ГОСТ 16483.17–81 Древесина. Метод определения статической твердости.

INDUSTRIAL BOG OAK

Kosarin A.A., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.)⁽¹⁾; **Kuryshov G.N.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.)⁽¹⁾

kosarin@mgul.ac.ru, kurishov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

Bog oak is a unique exclusive natural material of a large variety of colors. Physical and mechanical properties of bog oak wood can also vary significantly depending on the production zone of the timber and the time it spent under water. The cost of bog oak is ten times higher than that of conventional English oak, which creates prerequisites for researching the area in order to produce timber that looks like Bog oak. The Moscow State Forest University has carried out a number of studies on this issue. Impregnation technology has been worked out, which resulted in the fact that the wood gets Bog oak appearance and retains physical and mechanical properties of the wood of conventional oak, except for shrinkage and swelling. The tests on the compressive strength parallel to grain, static bending strength and static hardness of a sample of natural bog oak found in the Bryansk region, the industrial bog oak and conventional English oak not subjected to deep impregnation has been carried out. It has been found that the mechanical properties of “industrial bog oak” are slightly different from those of the conventional oak not subjected to deep impregnation and exceed the performance properties of the “bog oak”, having the same color variety as the former one.

Keywords: bog oak, physical and mechanical properties of wood English oak, stained oak industrial

References

1. Rasev A.I., Kosarin A.A. *Proizvodstvo industrial'nogo morenogo duba* [Production of industrial bog oak]. *Derevoobrabotka* [Woodworking]. 2009. № 2, pp. 18–20.
2. Laptev Yu.V., Savchenkov A.V., Sviridova E.A. *Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesiny morenogo duba: zhurnal Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Investigation of physical and mechanical properties of bog oak wood: log Actual problems of forest complex]. BGIITA (Bryansk), 2012. № 32. pp. 86–89.
3. Vanin S.I. *O fiziko-mekhanicheskikh svoystvakh drevesiny morenogo duba* [On the physical and mechanical properties of wood stained oak]. *Tруды лесотехнической академии им. Кирова*, V. 5. L.:LTA im. Kirova, 1935. pp. 63-79.
4. Shamaev V.A. *Modifitsirovanie drevesiny* [Modification of wood]. Voronezh, VGLA 2006. 386 p.
5. Safin R.R., Khasanshin R.R., Razumov E.Yu., Oladyshkina N.A. *Termomodifitsirovanie drevesiny v srede topochnykh gazov* [Termomodifitsirovanie wood in an environment Flue gas] *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, № 4, 2010. pp. 95–98.
6. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie* [Wood-and Forestry Commodity]. Moscow: MGUL, 2007. 351 p.
7. *GOST 16483.35–88 Drevesina. Metod opredeleniya razbukhaniya* [GOST 16483.35-88 wood. Method for determination of swelling].
8. *GOST 16483.10–73 Drevesina. Metod opredeleniya predela prochnosti pri szhatii vdol' volokon* [GOST 16483.10-73 wood. determining the ultimate strength method under compression along fibers].
9. *GOST 16483.3–84 Drevesina. Metod opredeleniya predela prochnosti pri staticheskom izgibe* [GOST 16483.3-84 Wood. Method for determination of ultimate strength in static bending].
10. *GOST 16483.17–81 Drevesina. Metod opredeleniya staticheskoy tverdsti* [GOST 16483.17-81 wood. Method for determination of static hardness].

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ МАШИН ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.В.СИРОТОВ, проф., МГУЛ, д-р техн. наук⁽¹⁾,
Я.В. ТАРЛАКОВ, доц., МГУЛ, канд. тех. наук⁽¹⁾,
К.В. СЕЛИВАНОВ, доц., МГУЛ, канд. тех. наук⁽¹⁾

selivanov_kv@mail.ru, sirotov@mgul.ac.ru, tarlakov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Рыночные условия производства лесозаготовительных работ предъявляют объективные требования к постоянному увеличению объемов выработки и эффективности эксплуатации техники. Эффективность эксплуатации лесопромышленной техники зависит от ее эксплуатационной надежности. Из-за внеплановых отказов повышаются простои и увеличиваются затраты на ТОиР техники. Каждый год порядка 60 % машин, эксплуатируемых в лесопромышленном комплексе, нуждаются в проведении управляющих технических воздействий разной сложности. Существующие фонды производства ТОиР устарели как морально, так и технически, также пришли в негодность старые алгоритмы поддержания работоспособности лесозаготовительной техники по причине их ориентированности на старые образцы диагностического оборудования. В настоящее время большая часть работ по ТОиР проводится в стационарных мастерских на значительном удалении от места лесозаготовки. Для проведения ТОиР требуется остановка техники, ее отрыв от проведения лесозаготовительных работ, что усугубляется тем фактом, что многие машины работают звеньями и при остановке одной также простаивает другая машина. В некоторых случаях использования особо высокопроизводительных машин остановка работы одной машины вызывает остановку всего технологического процесса и, как следствие, нескольких машин и оборудования, задействованного на последующих этапах обработки древесины. Транспортировка лесозаготовительной техники до места проведения ТОиР, а также ее простои в ожидании обслуживания составляют значительную часть потерь при эксплуатации лесопромышленной техники. Тенденции последнего времени имеют растущий тренд увеличения количества мобильных средств для диагностирования и проведения ТОиР в условиях работы техники. Организации ТОиР в условиях эксплуатации средствами мобильного диагностирования посвящена данная статья.

Ключевые слова: лесозаготовительные машины, техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), алгоритм обслуживания, мобильные диагностические средства.

В настоящий момент широкое распространение получили мобильные средства диагностирования [1]. От эффективности их применения и адаптированности к условиям лесопромышленного комплекса во многом зависит качество и безотказность работы эксплуатируемой техники.

Для обеспечения эффективной работы техники в лесопромышленном комплексе путем ее диагностирования и организации наладочных работ без отрыва от производства коллективом авторов был разработан алгоритм управления ее техническим состоянием без отрыва от процессов лесозаготовки (рис. 1) [2].

Принципиальное отличие разработанного алгоритма от уже существующих заключается в практической реализации возможности определения нормируемых показателей работы машин лесопромыш-

ленного комплекса современными мобильными средствами диагностирования с использованием их оперативного потенциала. До настоящего момента не было алгоритма, системно описывающего последовательность операций с узлами и агрегатами эксплуатируемых машин с учетом возможности их диагностирования в условиях эксплуатации. Сама возможность получения информации о состоянии машины или отдельных ее узлов и агрегатов компьютеризированными мобильными стендами появилась 6-8 лет назад и не интегрирована в полной мере в общую систему управления техническим состоянием машин лесопромышленного комплекса.

Одним из основных преимуществ диагностирования лесозаготовительной техники на месте эксплуатации является исключение возможности отрыва от про-



Рисунок. Алгоритм управления техническим состоянием машин лесопромышленного комплекса
 Figure. Algorithm control the technical condition of the timber industry machines

изводства исправной техники для проведения планового технического обслуживания и ремонта (ТОиР) по факту достижения необходимой наработки на стационарных удаленных ремонтных мастерских. Передвижные диагностические стенды позволяют получить информацию о состоянии параметров непосредственно на месте работы лесопромышленной техники. На основании полученной информации принимается решение о мерах технического воздействия на узлы и агрегаты, а также возможности ТОиР данной машины на месте работы. В случае положительного решения производится регулирование или обезличенный агрегатный ремонт. Следующим действием производится повторное диагностирование для подтверждения возвращения в норму параметров работы техники, на которые были оказаны управляющие технические воздействия. После подтверждения работоспособности машины она возвращается к выполнению производственного задания.

В ситуации, когда отказ машины не может быть устранен в условиях эксплуатации или нет возможности диагностирования определенного показателя на месте работы техники, вся машина, либо ее конкретная часть транспортируется в стационарную ремонтную мастерскую. На стационарном посту ТОиР в штатном режиме проводится диагностирование, наладка, ремонт или замена агрегата, параметры которого вышли из допустимого интервала. По завершении выполнения всех управляющих воздействий и по готовности машины к работе она возвращается на место эксплуатации. Время и средства, затраченные на транспортирование машины до стационарной мастерской, приводят к значительным потерям, поскольку машины надолго выбывают из технологического процесса. Данные потери исключены при применении передвижных диагностических стендов и проведении ТОиР в условиях эксплуатации [4].

Практическое применение предложенного алгоритма управления техническим со-

стоянием лесозаготовительной техники дает возможность значительно увеличить надежность ее работы, повысить эффективность, уменьшить расход топлива и улучшить экологические показатели.

Библиографический список

1. Селиванов, К.В. Повышение эффективности эксплуатации лесозаготовительных машин путем совершенствования диагностирования дизельной топливной аппаратуры: дисс. ... к-та техн. наук: 05.21.01 / Селиванов Кирилл Владимирович. – М.: МГУЛ, 2013. – 129 с.
2. Сиротов, А.В. К вопросу диагностирования дизелей лесных машин / А.В. Сиротов, К.В. Селиванов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 4 (87). – С. 50–51.
3. Шамарин, Ю.А. Проблемы диагностирования топливной аппаратуры дизелей лесных машин / Ю.А. Шамарин, В.И. Панферов, К.В. Селиванов, В.М. Корнеев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 3 (79). – С. 107–109.
4. Сиротов, А.В. К вопросу применения нанотехнологий и наноматериалов в лесном машиностроении / Сиротов А.В., Шамарин Ю.А., Панферов В.И., Селиванов К.В. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 7 (90). – С. 147–150.
5. Селиванов, К.В., Шамарин Ю.А., Панферов В.И. Патент на полезную модель №109506 «Устройство для определения параметров процесса топливоподачи дизельной топливной аппаратуры».
6. Тарлаков, Я.В. Эксплуатационные показатели дизельных электростанций лесного комплекса при работе на биотопливе: дисс. ... к-та техн. наук: 05.21.01 / Тарлаков Яков Викторович. – М.: МГУЛ, 2013. – 156 с.
7. Игнатов, В.И. Техническая эксплуатация и технология ремонта машин и оборудования лесного комплекса / В.И. Игнатов, В.А. Макуев, А.В. Сиротов. – М.: МГУЛ, 2006. – 337 с.
8. Селиванов, К.В. Проблемы диагностирования топливной аппаратуры дизелей лесных машин / К.В. Селиванов, Ю.А. Шамарин, В.И. Панферов, В.М. Корнеев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – №3. – С. 107–109.
9. Сиротов, А.В. Принципы построения и модели оптимизации системы технического обслуживания и ремонта поточных линий деревообрабатывающих производств: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.21.05/Сиротов Александр Владиславович – М., 2006. –252 с.
10. Колчин, А.В. Обеспечение экологической безопасности и нормативной топливной экономичности тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин при эксплуатации / А.В. Колчин. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 136 с.
11. Макуев, В.А. Научные основы формирования парка лесосечных машин предприятия: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.21.01 / Макуев Валентин Анатольевич. – М.: МГУЛ, 2010. – 313 с.

MANAGEMENT OF TECHNICAL STATE OF TIMBER INDUSTRY MACHINES IN FIELD CONDITIONS

SirotoV A.V., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; Tarlakov Y.V., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; Selivanov K.V., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾

selivanov_kv@mail.ru, sirotov@mgul.ac.ru, tarlakov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institut'skaya st., 1, 141005, Mytishi, Moscow reg., Russia

The market conditions of logging works bring about some objective demands in a constant increase of the machine operation turnout and its efficiency. The effectiveness of operating timber machines depends on their operational reliability. Due to unplanned failures both downtime and maintenance costs increase. Every year about 60% of machines operating in the timber industry need some technical control of different complexity. The existing funds of maintenance work have become outdated both morally and technically, as well as the old schedules of logging equipment operability maintenance have become useless because of their focus on old samples of the diagnostic equipment. Currently, most of the work on the maintenance and repair is carried out in stationary shops at a considerable distance from the place of logging. Carrying out the equipment maintenance results in its off-cycling stops that make the above situations worse because many machines work in cutting sections and a stop of one of them cause the other machine delay. In certain cases if the high-performance machines the stop are used the delay of one machine causes a stop of the whole technological cycle and, thus, a stop of several machines and the equipment engaged in the subsequent stages of wood processing. The transportation of logging equipment to the site of its maintenance and repair, as well as its delays during an idle period before the maintenance, make up a large part of the losses in the operation of timber equipment. The recent tendency has a growing trend of increasing the number of mobile tools for diagnostics and for carrying out maintenance and repair work in field conditions. Building-up both maintenance and repair work in field conditions by mobile means of diagnosing is the subject of this article.

Keywords: forest logging machines, maintenance and repair operations, the algorithm of service, mobile diagnostic tools.

References

1. Selivanov, K.V. *Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii lesozagotovitel'nykh mashin putem sovershenstvovaniya diagnostirovaniya dizel'noy toplivnoy apparatury* [Increase of operational efficiency of logging machines by enhancement of diagnostics of the diesel fuel equipment] [Tekst] PhD thesis: 05.21.01, Moscow, Moscow State Forest University, 2013. 129 pp.
2. SirotoV, A.V., Selivanov K.V. *K voprosu diagnostirovaniya dizeley lesnykh mashin* [To the question of diagnostics of forest machine diesels]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2012. № 4 (87). pp. 50–51.
3. Yu.A. Shamarin, V.I. Panferov, K.V. Selivanov, V.M. Korneev *Problemy diagnostirovaniya toplivnoy apparatury dizeley lesnykh mashin* [Problems of diagnosing the fuel equipment of diesels of forest machines] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2011. № 3 (79). pp. 107–109.
4. SirotoV A.V., Shamarin Yu.A., Panferov V.I., Selivanov K.V. *K voprosu primeneniya nanotekhnologii i nanomaterialov v lesnom mashinostroenii* [To the question of using nanotechnologies and nanomaterials in forest mechanical engineering]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2012. № 7 (90). p. 147-150.
5. Selivanov, K.V., Shamarin Yu.A., Panferov V.I. *Patent na poleznuyu model' №109506 «Ustroystvo dlya opredeleniya parametrov protsessa toplivopodachi dizel'noy toplivnoy apparatury»* [Utility model patent №109506 'The device for determination of fuel feeding parameters in the diesel fuel equipment].
6. Tarlakov, Ya.V. *Ekspluatatsionnye pokazateli dizel'nykh elektrostantsiy lesnogo kompleksa pri rabote na biotoplive* [Operational indicators of diesel power plants of forest complex while working on biofuel] Ph.D. thesis: 05.21.01, Moscow, Moscow State Forest University, 2013. 156 pp.
7. Ignatov V.I., Makuev V.A., SirotoV A.V. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya i tekhnologiya remonta mashin i oborudovaniya lesnogo kompleksa* [Technical operation and repair technology of machines and equipment of forest complex] Moscow, Moscow State Forest University, 2006. 337 pp.
8. Shamarin Yu.A., Panferov V.I., Korneev V.M. *Problemy diagnostirovaniya toplivnoy apparatury dizeley lesnykh mashin* [Problems of diagnosing the fuel equipment of forest machine diesels]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2011. № 3. pp. 107-109]
9. SirotoV A.V. *Printsipy postroeniya i modeli optimizatsii sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta potochnykh liniy derevo obrabatyvayushchikh proizvodstv* [Principles of creation and optimization models of maintenance and repair system of flow lines in woodworking industries]. D.Sc. thesis: 05.21.05. Moscow, 2006. 252 pp.
10. Kolchin A.V. *Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti i normativnoy toplivnoy ekonomichnosti traktorov i samokhodnykh sel'skokho zhaystvennykh mashin pri ekspluatatsii* [Providing ecological safety and standard fuel profitability of tractors and self-propelled agricultural vehicles in operation]. Moscow, Federal State Scientific Organization 'RusInformAgriTech', 2003. 136 p.
11. Makuev, V.A. *Nauchnye osnovy formirovaniya parka lesosechnykh mashin predpriyatiya* [Scientific bases of forming a park of felling machines at the enterprise] diss. ... d-ra tekhn. nauk: 05.21.01. Moscow: MGUL, 2010. 313 p.

УДК 631.1

КРИЗИС В ЛЕСНЫХ ДЕЛАХ РОССИИ: ИСТОКИ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ВЫХОДА ИЗ НЕГО

Н.А. МОИСЕЕВ, академик РАН⁽¹⁾

moiseev@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

В статье дается анализ исходного состояния лесных дел в России, обусловленного принятием «Лесного кодекса РФ» (2006 г.), который привел к нарушению баланса лесных отношений между основными его субъектами. Монополия арендаторов в юридическом лице крупного бизнеса привел к вытеснению малого и среднего бизнеса, государственных форм управления лесами на всех его уровнях, к ускоренному истощению рентабельных ресурсов и расширяющемуся банкротству лесных предприятий. Принятые «стратегии развития ЛПК в России» оказались несостоятельными, особенно в Сибири и Дальневосточном Федеральном округе, имеющих важное геополитическое значение. Истоки кризиса находятся за пределами лесного сектора экономики. К числу причин относится продолжающийся разрыв в доходах между олигархически-бюрократическим кланом и большинством населения, что отражается на платежеспособности последнего и, как следствие, сдерживает развитие внутреннего рынка и реального сектора экономики, усиливает социальную напряженность и приводит к стагнации развития производства. Назрела необходимость выработки нового экономического курса, смены изжившей себя модели псевдорыночной экономики, перехода на прогрессивную систему налогообложения как элементарную меру социальной справедливости, а также к коалиционному правительству, используя пример правительства Е.М. Примакова, «реанимировавшего убитую младореформаторами экономику» в 1998 г. Решение наиболее значимых проблем социально-экономического развития возможно лишь в рамках организации стратегического индикативного планирования, что особенно важно для лесного сектора экономики в связи с долгосрочной спецификой лесовосстановления. Для этого требуется возродить лесостроительство, без которого невозможно упорядочить использование и воспроизводство лесов и откорректировать *«стратегии развития лесопромышленного комплекса в России»*. В рамках их арендные отношения следует ограничить районами, где нет конкуренции на лесные ресурсы, во всех остальных необходимо перейти на «куплю-продажу» древесины на корню по рыночным ценам, что приведет к увеличению лесного дохода как главного источника интенсификации лесного хозяйства.

Ключевые слова: леса как объект управления; лесное хозяйство как средство управления этим объектом на практике; лесной сектор экономики; стратегии развития ЛПК в России.

Словосочетанием «лесные дела» мы очерчиваем *целостное поле деятельности при сложившейся системе взаимозависимостей всех без исключения субъектов лесных отношений*, которое далеко не удовлетворяет многих из них и отражается в целом на эффективности лесного сектора экономики. Конечно, всегда найдутся оппоненты и заявят: «Не круто ли автор завернул?». Автор же как верноподданный вправе, как и в прежние времена, сослаться на первое лицо государства, оценку положения которого он безусловно поддерживает.

В заключительном слове на выездном заседании Президиума Госсовета в Улан-Удэ 11 апреля 2013 г. В.В. Путин подчеркнул (1):

«Безусловно, *лес* – это очень большой, если не сказать огромный, восполняемый ресурс при условии, конечно, заботливого, бережного и рационального к нему отношения, и при наличии *ответственного, рачитель-*

ного хозяина. Наша сегодняшняя дискуссия в несколько часов показала, что, к сожалению *ни государственные органы, ни хозяйствующие субъекты, явно на это высокое звание хозяина леса пока не тянут*».

«В обозначенных вопросах есть одна общая тема, одна общая проблема ... это *устаревшие, постоянно тормозящие весь процесс управленческие решения*», «Есть и другие данные, которые говорят о том, что *отрасль в целом находится в критическом состоянии*».

И в качестве аккорда за этим следует оргвывод: «Очевидно, что *должностные лица, которые отвечают за развитие лесного сектора, не справляются с поставленными перед ними задачами*».

Полагаю, Правительству нужно принять соответствующие кадровые решения, и сделать это нужно как можно быстрее. При этом, конечно, только одних кадровых пере-

становок недостаточно, чтобы радикально изменить ситуацию в отрасли. *Нужна современная государственная лесная политика в целом, необходим четкий план действий, основанный на полной и достоверной информации о состоянии леса. И главное, напряженная, скоординированная, четкая заинтересованная работа всех структур, занятых в лесном секторе».*

В отношении данного первым лицом государства заключения можно было бы использовать выражение известного математика Гаусса, который по поводу нерешенной сложной задачи сказал, что *ответ-то нам ясен, но главное, как подойти к ее решению*. В данном же случае также известно, что по поручению Президента был подготовлен целый список предложений, требовавших решений. Но многие из них решались формально, имитируя лишь деятельность ответственных чиновников, а ко многим из них понастоящему, даже еще и не подступались.

И вот тут возникает вопрос, *с чего начинать?* Есть ли тут то *центральное звено*, потянув за которое можно было бы вытянуть и всю логическую цепь всех остальных звеньев?

Отвечая на этот вопрос, надо иметь в виду *иерархический характер структуры лесных проблем*, которые *порознь не решаемы*, но при этом каждая из них решается на соответствующем ей уровне лесопользования, не забывая, *что истоки кризиса лежат за пределами лесного сектора экономики*. Тем не менее, в этой ситуации важно видеть *самое слабое звено*, обрыв которого грозит тяжелыми последствиями для всех остальных. Этим самым слабым звеном, по нашему мнению, является сам так называемый *Русский лес как объект управления, и хозяйство в этом лесу как средство управления им на практике*.

Лесной кодекс РФ (2006 г.) как главный регламентирующий нормативно-правовой акт монопольными его составителями в юридическом лице руководства минэкономразвития, в частности радикал-либерального реформатора господина Грефа, был навязан лесной общественности таким, что *лес явил-*

ся «яблоком раздора» между основными субъектами лесных отношений (2). Находясь в *государственной федеральной собственности*, он был передан в управление субъектам РФ, полномочия которых в финансовом отношении не были обеспечены. Осуществление же *хозяйственного управления* им было передано *арендаторам*, но *за их счет*, что компенсировалось предоставленной им неоправданно *широкой свободой действий: освобождение от исторически закрепленного для государственных лесов разрешительно-го порядка лесопользования*; права по своему усмотрению строить проект (план) освоения лесов; освобождения от уплаты древесины на корню по рыночным ценам, как это принято в других странах, да и было в дореволюционной России. К тому же была *ликвидирована* и исторически действовавшая *лесная охрана*. Федеральный же орган, лишенный основных полномочий управления лесами, не по своей вине *оказался в положении лишь стороннего наблюдателя*.

Что из этого *нового порядка* получилось, уже известно и многократно описано. Арендаторы, по существу предоставленные сами себе, вырубает в первую очередь самые рентабельные ресурсы леса, *ускоряя их истощение* и приводя ко все большему *дефициту экономически доступные ресурсы*. Под видом же пока нереалистичной в нынешних условиях интенсификации лесопользования влиятельные в околоправительственных кругах *арендаторы настаивают на сокращении возраста рубки леса*, чтобы этим самым автоматически увеличить допустимый в закрепленной за ними сырьевой базе размер рубки, хотя этим самым лишь ускорят ее исчерпание. Отсутствие же требуемого лесного хозяйства приводит к широкомасштабной смене хозяйственно ценных пород малоценными и к *окончательной потере надолго того лесосырьевого потенциала, который первоначально закреплялся за ними как неистощительный*.

Долгосрочная же специфика лесовыращивания творит *«злую шутку»* со всем лесопромышленным комплексом (ЛПК), обрекая его на расширяющиеся масштабы банкротства. В отличие от сельского хозяйства с

его годичным циклом производства, в лесном хозяйстве бореальных лесов сурового континентального климата, *требуются многие десятилетия, чтобы восстановить подорванную лесосырьевую базу*, на что частный сектор своими средствами *неспособен из-за длительных сроков окупаемости капитальных вложений*.

Исторически это уже проходили ныне промышленно развитые страны, в т.ч. США, скандинавские и иные, где в конечном итоге не могли обойтись без существенных государственных субсидий. Но там последние мобилизовывались за счет рыночных цен на корню, которые на порядок выше *размера нынешней арендной платы в России*, которая и привела к *разбазариванию* эксплуатационных запасов древесины.

За последние три десятка лет так называемой перестройки *государство самоустранилось* не только от *требуемой стоимостной оценки по рыночным ценам лесов*, отводимых в рубку, но и от *должного лесного планирования и требуемой организации неистощительного пользования лесом*. При этом последним Лесным кодексом РФ (2006 г.) было упразднено и *лесоустройство как важнейший инструмент лесопользования и повышения его доходности* на основе экономически обоснованного лесного планирования. По этой причине *управление лесами в стране ныне ведется по существу «вслепую»*. Разрабатывавшиеся же *«Стратегии развития ЛПК в России»* оказались *несостоятельными*, что особенно наглядно видно на примере так называемых приоритетных инвестиционных проектов в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах, имеющих для государства важное геополитическое значение. Полномочный представитель президента по Дальневосточному федеральному округу Ю. Трутнев, подводя итоги совещания, проведенного им в Хабаровске (2015 г.), отметил, что «из 11 инвестиционных проектов, признанных приоритетными ... реализуется только один. Остальные считаются неэффективными». «Такая ситуация – результат вредительства и крайне некачественной работы чиновников» (3).

В Красноярском крае уже широко известны провалившиеся крупные инвестиционные проекты «Краслесинвест» и «Ангара-Пейпа» (4, 5).

Для всех названных проектов характерным было стремление вести вырубку лишь рентабельных древостоев с вывозом древесины в круглом виде зарубеж, не вкладывая средства на переработку, для чего и были заключены инвестиционные проекты, пользующиеся определенными со стороны государства льготами.

Общим также недостатком абсолютно большинства инвестпроектов, составляющих содержание «Стратегии развития ЛПК в России», является то, что они ориентированы в основном на *внешнего потребителя*, между тем и первым лицом государства отдается *приоритет внутреннему рынку*, тем более в условиях западных санкций, которые являются отнюдь не временным явлением. Между тем в федеральных округах, находящихся в *эпицентре внутреннего лесопотребления* (Центральный, Приволжский, Уральский, Южный), недоиспользуемый годичный прирост составляет около 250 млн м³, т.е. больше, чем объем заготовки по всей России, при наличии здесь и трудовых ресурсов и необходимой инфраструктуры. Между тем, этот *«эпицентр внутреннего лесопотребления»* в нынешней «Стратегии» по большому счету *проигнорирован*. В одной только Московской области возможный резерв лесопользования составляет около 7 млн м³ в порядке конечных рубок и не менее 3 млн м³ в виде промежуточных рубок. Из-за существующего Лесного кодекса РФ, *наложившего запрет на обновление защитных лесов*, этот резерв не только не используется, но ему еще наносится и большой ущерб из-за большого числа очагов вредителей и болезней, ветровалов и буреломов. Вот это явление и относится к отмеченной Президентом категории *«устаревших управленческих решений»*, которые можно отнести и к выражению полпреда Ю. Трутнева как *«результата вредительства»*.

Однако есть и более широкая область так называемых *«скрытых резервов»*. Самым существенным из них является *отсутствие*

мотивации всего государственного управления лесами к повышению доходности лесов и к самофинансированию лесного хозяйства. Отсутствие этой мотивации объясняется тем, что государство как собственник лесов сдало свои позиции частному сектору из-за неолиберальной позиции правящей элиты, страдающей синдромом «рыночного фундаментализма», наносящего непоправимый вред всей национальной экономике. Именно по этому поводу единственный удачный премьер за всю так называемую перестройку Е.М. Примаков не побоялся на Гайдаровском форуме в 2014 г. бросить упрек руководителям социально-экономического блока правительства, что они *обслуживают «интересы частного олигархического капитала в ущерб интересам основной массы населения»*. «В этой связи – по его мнению – **особо острый характер обретает проблема необходимости противодействия политике неолибералов в России**» (6).

В связи с ныне наблюдаемым обострившимся финансовым и в целом социально-экономическим кризисом уже и *правые*, и *левые* сошлись в одном, что нынешняя система управления в стране не работает, требуется смена экономической модели, выработка нового курса, чтобы обеспечить экономическое развитие, несмотря на западные санкции и др. проблемы.

Однако для такого перехода *по сути на инновационный путь развития* требуется решить многие проблемы, которые до сих пор правящей элитой отодвигались. К числу их относится, прежде всего, углубляющееся социальное неравенство по душевому уровню доходов между олигархически-бюрократическим кланом и большинством населения, что ограничивает платежеспособный спрос последнего как двигателя развития внутреннего рынка и реальной экономики и создает растущую социальную напряженность, особенно в условиях кризиса.

До сих пор, несмотря на 30-летний период либеральных реформ, отсутствует внятная социальная стратегия развития общества, которая отвечала бы на главные вопросы, какое общество в России строится и

какими путями и средствами для этого должны пользоваться? Разговоры о демократическом и правовом государстве превратились в отвлеченные абстракции на общем фоне непреодолимой коррупции и организованной преступности, которые проникли во все этажи государственной власти. Череда губернаторских посадок и освобождение от ответственности за нанесенный ущерб бывшего министра обороны Сердюкова и Васильевой вызывает немало вопросов к кадровой политике, из-за которой «процветает» *непрофессионализм и безответственность*.

Но самое удивительное, что те неолибералы, которые формировали и проводили экономическую политику последнего десятилетия и породили тот самый кризис, который явился для России *рукотворным*, теперь выступают самыми резкими критиками нынешнего правительства, упрекая его в отсутствии антикризисной программы. В числе их давно знакомые и влиятельные на политическом олимпе люди, например, бывший министр экономики Г. Греф, бывший министр финансов А. Кудрин.

На прошедшем Гайдаровском экономическом форуме суть выступления Г.Грефа свелась к тому, что *«мы проиграли конкуренцию и оказались в числе...тех, кто не стремится к развитию»*, предлагая провести очередную «реформу госуправления», «реформу судов и правоохранительных органов». А. Кудрин предвещает, что в ближайшие годы, если не десятилетия, нас ждет долгий кризис, выбраться из которого только за счет нефти не получится» (7).

Нынешние главы Минэкономразвития А. Улюкаев, министр финансов А. Силуанов и глава центробанка России Э.Набиуллина по заявлению их оппонентов демонстрируют беспомощность в своих прогнозах и практических действиях (8). Но при этом нельзя забывать, что они сами являются *воспитанниками названных выше предшественников* и грешат теми же их недостатками, проводя политику несвойственного для России *«рыночного фундаментализма»*.

Учитывая авторитарный характер правления в России, все взоры естествен-

но обращаются к главе государства: «Путин обязан вернуться во внутреннюю политику. Путин обязан с головой погрузиться в решение экономических проблем страны. Кроме В.В.Путина сделать это просто некому» (9).

Но есть ли решения названных выше проблем? Безусловно, есть, они давно на виду, но от них шарахаются нынешние главы социально-экономического блока правительства, поскольку они являются проводниками интересов олигархически-бюрократического клана, ставящего свои выгоды выше общественных интересов. Кратко проиллюстрируем это на следующих примерах.

Дальнейшему опасному росту разрыва в доходах между олигархически-бюрократическим кланом и большинством населения могла бы *препятствовать прогрессивная система налогообложения как элементарная мера социальной справедливости*, которая прочно вошла в практику промышленно развитых стран с рыночной экономикой. При этом освобождая от налогов малообеспеченную часть населения. Радикальной мерой борьбы с широкомасштабной коррупцией могла бы служить также *конфискация имущества*, которая узаконена на международном уровне. Реализация даже этих мер позволила бы дать казне ежегодные несколько триллионов рублей, что спасло бы госбюджет от неминуемых секвестров.

Однако эти очевидные меры сторонники олигархического лобби в государственной власти не допускают даже до постановки на законодательную основу, прикрываясь нелепыми объяснениями о расширении «серых схем», не упоминая при этом, что теневые доходы в стране давно уже составляют не менее половины от всех доходов.

По мнению лидера партии «Справедливая Россия» С. Миронова, «чем сложнее становится экономическая ситуация в стране, тем больше сомнений, что нынешний состав правительства РФ и в особенности его финансово-экономический блок способны вывести страну из нынешних трудностей (10). Б. замминистра финансов и первый зампред Центробанка С. Алексашенко полагает,

что «по большому счету у правительства нет никакого антикризисного плана. «Для радикального изменения ситуации нужны не экономические меры. Это – вопрос политических реформ, политической конкуренции, независимого суда, равенства всех перед законом, борьбы с коррупцией»(11).

С. Миронов также считает, что реальным выходом из усиливающегося кризиса является «идея формирования правительства народного доверия, состоящего из представителей разных конструктивных политических сил», т.е. формирования *коалиционного правительства*, подобного правительству Е.М. Примакова, которое реанимировало «убитую младореформаторами экономику» в 1998 г. (12). Такой же точки зрения придерживается и фракция Госдумы КПРФ. Именно эта политическая мера позволит не только преодолеть усиливающийся кризис, но и создать условия для экономического развития.

Чтобы обосновать и реализовать стратегически значимые решения для обеспечения прорыва в социально-экономическом развитии, промышленно развитые страны после Великой Депрессии 30-х гг. и особенно после второй мировой войны ввели в широкую практику *систему долгосрочного стратегического индикативного планирования*, кстати говоря, не без благотворного влияния на них в этом деле примера СССР. При этом и в США, и во Франции, и в скандинавских странах было признано, что *рынок и план не противостоят друг другу, а лишь дополняют, ускоряя экономическое развитие*, особенно при переходе на более совершенные технологические уклады. В такой смешанной экономической системе, в которой рыночный механизм регулировался системой государственных мер, *возрастала роль государства*, которое при планировании, носящем индикативный характер, выступало в четырех ипостасях: *инициатора, организатора, консолидатора и координатора* совместных действий основных субъектов общественных отношений.

Наши же *младореформаторы* при переходе от централизованно планируемой к рыночной экономике, сведя роль государства

к положению «ночного сторожа», на планирование навешали «табу». Попытки планирования носили примитивный характер и не имели реального значения. Известно, что по Лесному кодексу РФ (2006) допускалась лишь одна форма планирования – *лесной план субъекта РФ*, качество которой было подвергнуто уничтожающей критике на упоминавшемся заседании президиума Госсовета в Улан-Удэ.

Наконец 28 июня 2014 г. был принят *Федеральный закон РФ №172 «О стратегическом планировании в Российской Федерации»*, предусматривающий разработку системы взаимосвязанных планов на всех уровнях управления. Но что симптоматично? Выступая 19 января на пленарном заседании Госдумы, лидер партии КПРФ заявил: «Мы с вами приняли закон о стратегическом планировании. Но ни в одном министерстве нет методики, каким образом можно решать эту задачу» (13). Этот факт довольно красноречиво говорит об отношении самого правительства к принятому им закону.

Между тем без реализации этого закона на практике наша страна не обойдется, тем более в условиях кризиса. Долгосрочное стратегическое планирование особенно требуется для лесных отраслей в связи с беспрецедентно длительным периодом лесовыращивания. Именно для учета этой специфики во многих странах мира вот уже более двух веков активно используется *специализированная государственная служба лесостроительства*, которая была упразднена младореформаторами, навязавшими «Лесной кодекс РФ» (2006 г.). Для России требуется неотложно восстановить эту службу, но теперь уже с учетом названного выше ФЗ-№172 «О стратегическом планировании в РФ» и применительно к условиям рыночной экономики, используя исторический отечественный и зарубежный опыт. Именно в таком контексте автором была разработана концепция современного лесостроительства (14) и методология стратегического планирования лесного сектора экономики (15), которые докладывались на разного рода конференциях.

При постановке на новый уровень стратегического планирования, прежде всего,

возникают вопросы, какие органы государственной власти могут и должны отвечать за его организацию и качественное исполнение. Вопросы эти довольно непростые, учитывая, что хроническим недостатком планирования и в годы перестройки, и в последние доперестроечные годы был его ведомственный и технократический характер, когда ведомственная бюрократия затрудняла организацию системного многоотраслевого подхода во взаимоувязке разных уровней управления, с широким использованием общественных организаций. Именно в этом направлении совершенствовалась система стратегического планирования и за рубежом, которая описана нами в учебном пособии по лесной экономике (16).

В СМИ договариваются даже до создания специального органа типа Госплана, только применительно к рыночным условиям. Однако в условиях кризиса вряд ли дело дойдет до создания дополнительных органов. Эту роль могли бы исполнять и существующие органы, при условии их трансформации и ориентации на новые задачи.

На федеральном уровне решение стратегического индикативного планирования могло бы и по идее должно взять на себя министерство экономразвития. Но, к сожалению, череда его руководителей, начиная с Г.Грефа, не оправдала своего назначения в этом направлении, если не сказать, скомпрометировала себя радикальной неолиберальной позицией, обслуживающей, по упомянутым словам Е.М. Примакова, «интересы частного олигархического капитала».

Однако при улучшении кадровой политики, особенно в рамках социально-экономического блока правительства, при усилении влияния гражданского общества, используя такие инструменты, как введенный президентом ОНФ «за Россию», можно полагать, что и это министерство вынуждено будет считаться с общественными интересами при организации в целом по стране стратегического планирования. По отношению же к лесному сектору отраслей задачу организации стратегического лесного планирования мог бы осуществлять федеральный орган управления

лесами при условии наделения его необходимыми для этого полномочиями.

Почему в данном случае делается особый акцент на организационной стороне дела постановки и реализации проблемы стратегического планирования? Потому что в его задачу и входит подготовка стратегически значимых решений того круга проблем, которые тормозят социально-экономическое развитие России в условиях нарастающего противостояния Запада, которого раздражает самостоятельная внутренняя и внешняя политика, проводимая руководством нашей страны.

В заключение следует вернуться к самому слабому звену в рамках лесного сектора отраслей, связанного с ускоряющимся истощением экономически доступных ресурсов по причине отсутствия надлежащего государственного управления лесами.

Олигархическое лобби, через неолибералов навязавшего нынешний лесной кодекс РФ, главным содержанием которого стала монополия крупного лесного бизнеса на основе долгосрочной аренды с замыслом последующей тотальной приватизации лесов, привела к вытеснению не только ранее главенствующего в лесном хозяйстве и в лесной промышленности мелкого и среднего бизнеса, но и самого государственного управления лесами на всех его уровнях. Многочисленные поправки, вносимые за последнее десятилетие, не исправляют изначально допущенные перекосы, приведшие к нарушению баланса лесных отношений между основными его субъектами, включая государство в юридическом лице его органов управления по всей федеральной вертикали; различных по масштабу и структуре хозяйствующих субъектов бизнеса; и, наконец, *самого общества*, представляющего на самом деле и *собственника лесов*, и *производителя*, и *потребителя основных продуктов и услуг леса, но на практике лишённого права влиять на принимаемые меры управления*.

Экономисты неолиберального толка полагают, что народ наш еще не созрел до того, чтобы ему можно было доверять принятие значимых решений, затрагивающих его, т.е. общественные интересы. Так,

по поводу значимости опроса общественного мнения, в данном случае Левада-центра, по оценке роли государственного планирования для развития экономической системы, Вл. Иноземцев, директор центра исследований постиндустриального общества, полагает, что данные опроса «свидетельствуют о неспособности значительного числа россиян адекватно оценивать ситуацию в экономике страны»; «граждане России не являются рационально мыслящими людьми»; «люди не понимают, что нормальное общество – это структура, развитие которой задается индивидуальными планами массы людей, но которая не обязательно имеет общий план»; «влияния коллективных акций на принимаемые властью решения минимально, гражданское общество практически отсутствует»; «перед нами – не способное рефлексировать общество; люди, готовые делать свой выбор «сердцем», а не головой»; массы, до последнего надеющиеся на государство, скептически относящиеся к бизнесу» (17).

В данном случае приведена точка зрения типичного представителя неолиберальных экономистов, защищающих интересы олигархического клана, руководствуясь идеологией «рыночного фундаментализма» и представляющих сам народ неспособным рационально мыслить и отстаивать свои интересы. Разумеется, эта точка зрения торпедует призыв президента России, высказанный им в послании Федеральному собранию, *строить гражданское общество, которое контролировало бы власть и направляло ее действия в общественных интересах*.

Но именно подобными неолибералами и формировался Лесной кодекс РФ и проводились либеральные реформы, которые и привели к кризису все лесные дела в России. Для оздоровления лесного сектора экономики надо прежде всего *исправить* заложенный в кодексе дисбаланс в лесных отношениях между основными названными выше субъектами, начиная с корректировки деятельности главного монополиста среди лесопользователей в юридическом лице арендаторов. Но чтобы объективно представлять истинное положение вещей, сложившихся в

лесных делах, вначале надо провести аудит состояния лесов и лесного хозяйства в закрепленных за ними по договорам сырьевых базах, независимыми от лесопользователей и органов управления лесами организациями, сформировав их с участием не только контрольные органы, но и представителей общественности, включая защитников природы, в т.ч. Гринпис. Только после такой проверки можно объективно решить, какие закрепленные сырьевые базы допустимо сохранить за арендаторами, но при этом определив и неотложные меры для улучшения дальнейшего хозяйства в них.

Общим правилом должно быть то основное положение, что место арендаторов допустимо сохранять только там, где нет иных конкурентов на осваиваемые ими ресурсы леса, включая мелкий и средний бизнес и связанное с ними местное население. ***Монополия арендаторов недопустима там, где спрос на лесные ресурсы превышает их предложение и где в этом случае ресурсы леса должны представляться только на основе «купли-продажи» их по рыночным ценам,*** что и осуществляется в соседних странах, в т.ч. и для крупных корпораций, занимающихся глубокой переработкой древесины и древесных отходов в промышленных масштабах.

Учитывая, что деятельность арендаторов при сложившемся попустительстве государства как собственника леса привела к деградации лесов и лесного хозяйства со всеми связанными с этим известными последствиями, вплоть до расширяющегося банкротства лесных предприятий, следует *восстановить государственно-частное партнерство при организации и реализации арендных отношений,* включая проведение за государственный счет лесоустройства, разработку с его помощью лесного плана для арендуемого лесного участка, гарантируя неистощительное лесопользование и полноценное лесное хозяйство, обеспечивающее *устойчивое лесопользование,* т.е. воспроизводство используемых ресурсов, охрану и защиту лесов, а также получение не фиктивного, а полноценного лесного дохода,

основывающегося на рентных платежах. С этой целью уже при лесоустройстве должна даваться экономическая оценка лесосек, отводимых в рубку. Но при этом должны быть укреплены и государственные органы управления лесами на местном уровне, обеспечивающие требуемый баланс государственных и частных интересов, исключающие нынешнюю односторонность частных интересов, превращающихся во «вседозволенность».

Лидер экономистов лесопромышленного комплекса доктор экон. наук Т.С. Лобовиков предупреждал, что наивно рассчитывать, будто бы арендатор будет заинтересован вести добросовестное лесное хозяйство. Это ему никогда не будет свойственно по одной простой причине: весь интерес его сводится к получению быстрой прибыли, а не отдаленного ожидаемого эффекта, получаемого от лесного хозяйства. Исторический же опыт наглядно показал, что лесным хозяйством должны заниматься государственные специализированные предприятия, восстановление которых там, где были упразднены лесхозы, и было рекомендовано на прошедшем в 2013 г. в Улан-Удэ Госсовете. Именно они и могут быть партнерами для арендаторов, осуществляющих ведение лесного хозяйства в закрепленных за ними сырьевых базах.

Тем более, эти предприятия могут и должны осуществлять весь комплекс работ, связанных с использованием и воспроизводством лесов на не закрепленных за арендаторами. Особо следует подчеркнуть, что эти предприятия будут незаменимыми для ведения хозяйства в защитных лесах, имеющих многоцелевое значение.

Однако следует вернуться и к недопустимым просчетам, допущенным в ходе так называемых либеральных реформ. Для многих в России, в т.ч. и для представителей государственных органов, Финляндия, бывшая окраина Царской России, ныне представляется чуть ли не законодательницей «лесных мод». При этом нашим ультралиберальным реформаторам, ни на йоту не допускающим участия государственных органов управления лесами в осуществлении хозяйственных функций, тем не менее, следует иметь в виду,

что в Финляндии государственные органы управления лесами на местном уровне, типа наших лесничеств, совмещают ведение лесного хозяйства вплоть до заготовки древесины и даже поставки по договорам «во двор потребителя» там, где это целесообразно, и при этом такое совмещение не представляется чем-то из ряда вон выходящим и наказуемым. И, кстати, в дореволюционной России, при аналогичной частнокапиталистической рыночной экономике, в лесничествах наряду с продажей леса на корню, считалось не только допустимым, но даже, по словам лидера лесопромышленности проф. М.М. Орлова более выгодным, там, где позволяла обстановка, реализовать уже заготовленные лесоматериалы. Этого рода примеры заслуживают внимания для малолесных районов, где леса имеют многостороннее защитное и социальное значение. Именно для этих лесов целесообразнее совмещать управление лесами с ведением многоцелевого лесного хозяйства и лесопользования, требующего не только знания, но и опыта и умения. Органы управления лесами могут привлекать и местное население для осуществления лесопользования и ведения хозяйства, обеспечивая подготовку привлекаемых лиц к совершению тех или иных операций и должный надзор. Этим широко пользуются аналогичные организации в прибалтийских странах и в Польше, обеспечивая рентабельное лесное хозяйство.

Безусловно, все это потребует серьезной корректировки нынешнего лесного законодательства, которое, к сожалению, насыщено как раз теми «устаревшими управленческими решениями», о которых говорилось в начале статьи и которые завели лесные дела в тупик.

Лесное законодательство требует отдельного разговора. Ибо, чтобы вычистить здесь своего рода «авгиевы конюшни», требуются другие люди, в отличие от тех монополистов – неолибералов, которые на этом участке захватили законодательную власть, другая организация работ, способная предложить новый экономический курс, новую модель рыночной экономики, обеспечивающий

развитие, а не стагнацию, и, наконец, формирование тех субъектов, которые потянут, по словам президента России, «на высокое звание хозяина леса».

Библиографический список

1. Путин, В.В. «Лес нужно спасать». Стенографический отчет. Президиум Госсовета в Улан-Удэ. 11 апреля 2013 г.
2. Лесной кодекс Российской Федерации от 4 декабря 2006 г., №200-ФЗ. О введении в действие лесного кодекса Российской Федерации. Федеральный закон Российской Федерации от 4.12.2006 г. №201-ФЗ. Опубликовано 8 декабря 2006 г. Издатель ЗАО «ИНЕКО» по заказу Федерального агентства лесного хозяйства. Отпечатано в ООО ОИД «Медиа-Пресса»; 48 стр.
3. «Полпред президента заговорил о вредительстве». «Лесная газета», 22.08.2015 г., С 1.
4. Миронов, Г. «На зеркало неча пенять»... О судьбе двух самых крупных приоритетных лесных проектов Красноярского края / Г. Миронов // Лесная газета. – 25.08.2015. – С. 2.
5. Артемов, С. Затерянные миллиарды. / С. Артемов // Московский комсомолец. – 19.08.2015. – С. 5.
6. Ростовский, М. Примаков атакует белый дом / М. Ростовский // Московский комсомолец. – 15.01.2015 г.
7. Макеев, Н. Герман Греф: мы проиграли будущее. / Н. Макеев // Московский комсомолец. – 16.01.2016. – №6 (27.008). – С. 1,2.
8. Делягин, М. «Шабаш либералов». Заметки о Гайдаровском форуме - 2016 / М. Делягин // Завтра. – №3(1155). – январь 2016. – С. 8.
9. Ростовский, М. Два дня без правительства / М. Ростовский // Московский комсомолец. – 13.01.2016. – №3(27.005). – С. 1,2.
10. Миронов, С. Плач по дешевой нефти / С. Миронов // Аргументы недели. – №2 (493) от 21-27 января 2016. – С. 3,5.
11. Андреев, Е. Для спасения экономики нужны политические реформы (интервью с С.Александренко, б.зам министра финансов) / Е. Андреев // Новая газета. – №8 от 22.01.2016. – С. 10.
12. Угланов, А. Токсикоманы / А. Угланов // Аргументы недели. – № 2(493). – 21-27.01.2016. – С. 1,2.
13. Выступление председателя ЦК КПРФ Г.А. Зюганова на пленарном заседании Госдумы 19 января. Газ. // Правда. – № 5(30356). – 21.01.2016. – С. 1.
14. Моисеев, Н.А. Лесостроительство в России: монография / Н.А. Моисеев, А.Г. Третьяков, Р.Ф. Трейфельд. – М.: МГУЛ, 2014. – 268 с.
15. Моисеев, Н.А. Методология формирования стратегии лесопромышленности и развития лесного сектора экономики / Н.А. Моисеев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 4(96). – 240 с.
16. Моисеев, Н.А. Экономика лесного хозяйства / Н.А. Моисеев. – М.: МГУЛ, 2012. – 399 с.
17. Иноземцев, В. «Все идет по плану. Россияне верят, что государство придет к ним на помощь, - отсюда позитивное отношение к «распределительной идеологии» / В. Иноземцев // Московский комсомолец. – 20.02.2016. – С. 3.

CRISIS IN RUSSIA'S FOREST CASES: ITS ORIGINS AND THE POSSIBLE WAY OUT OF IT

Moiseev O.N., Academician (MSFU)⁽¹⁾

moiseev@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

The article provides an analysis of the initial state of forest situation in Russia which is due to the adoption of the «Forest Code» (2006), that resulted in the disruption of the balance of forest relations between its main entities. The tenants' monopoly in the legal entity of big businesses resulted in ousting of small and medium-sized businesses and of public forms of forest management at all levels, in the accelerated depletion of profitable resources and in expanding the bankruptcy of forest enterprises. The accepted «FIC development strategy in Russia» has failed, especially in Siberia and in the Far East Federal District, with both of them having a great geopolitical importance. The origins of the crisis lie outside the forest sector. Among the reasons for it there is an increasing income gap between the oligarchic-bureaucratic clans and the majority of the population which affects the purchasing power of the latter and, consequently, hinders the development of the domestic market and the real economy, increases social tensions and results in further production stagnation. There is a need to develop a new economic course, to change an outdated model of pseudo-market economy, to proceed to a progressive tax system as an elementary measure of social justice, as well as to a coalition government, using the example of the government headed by E.M. Primakov who was able to revive a dead economy killed by «young reformers» in 1998. The solution of the most important problems this country is facing in social and economic situation becomes possible only by developing the strategic indicative planning, which is particularly important for the forest industry sector because of some specific features of reforestation taking a long time. This requires that the forest management will be restored, which is essential to set both the forest use and reforestation in order and to correct the «strategy of timber industry complex development in Russia». Within the above strategy all leasing relationship should be limited to regions where there is no competition for forest resources while in the other regions it is necessary to proceed to standing timber «purchase and sale» relations at market prices, which will help to increase forest revenues as the main source of forestry intensification.

Keywords: forests as a control object; forestry as a means to control the object in practice; the forest sector; TIC development strategy in Russia.

References

1. Putin V.V. «Les nuzhno spasat'». *Stenograficheskiy otchet. Prezidium Gossoveta v Ulan-Ude. 11 aprelya 2013 g.* [The forest must be saved]. Transcript. State Council Presidium in Ulan-Ude. April 11, 2013
2. *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 4 dekabrya 2006 g., №200-FZ. O vvedenii v deystvie lesnogo kodeksa Rossiyskoy Federatsii. Federal'nyy zakon Rossiyskoy Federatsii ot 4.12.2006 g. №201-FZ. Opublikovano 8 dekabrya 2006 g. Izdatel' ZAO «INEKO» po zakazu Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaystva. Otpechatano v OOO OID «Media-Pressa»; 48 str.* [The Forest Code of the Russian Federation on December 4, 2006, №200-FZ. On enactment of the Forestry Code of the Russian Federation. Federal Law of the Russian Federation dated 12.04.2006 of №201-FZ. Posted on December 8, 2006 Published CJSC «INEKO» commissioned by the Federal Forestry Agency. Printed in OID LLC «Media-Press»; 48 p.
3. *Polpred prezidenta zagovoril o vreditel'stve* [The presidential envoy spoke of sabotage]. Forest newspaper, 22.08.2015, p 1.
4. Mironov G. *Na zerkalo necha penyat' ... O sud'be dvukh samykh krupnykh prioritnykh lesnykh proektov Krasnoyarskogo kraya* [In the mirror necha blame]. The fate of the two largest priority forest projects of the Krasnoyarsk Territory. Forest newspaper. 08.25.2015. pp. 2.
5. Artemov S. *Zateryannye milliardy* [Lost billions]. Moskovsky Komsomolets. 08.19.2015. pp. 5.
6. Rostovskiy M. *Primakov atakuet belyy dom* [Primakov attacks white house]. Moskovsky Komsomolets. 15.01.2015.
7. Makeev N. *German Gref: my proigrali budushchee* [Gref: We have lost the future]. Moskovsky Komsomolets. 01.16.2016. № 6 (27.008). pp. 1, 2.
8. Delyagin M. «Shabash liberalov». *Zametki o Gaydarovskom forume - 2016* [“Sabbat liberals.” Notes on the Gaidar Forum - 2016]. Tomorrow. №3 (1155). January 2016. 8 p.
9. Rostovskiy M. *Dva dnya bez pravitel'stva* [Two days without a government]. Moskovsky Komsomolets. 01.13.2016. №3 (27.005). pp. 1, 2.
10. Mironov S. *Plach po desheveyushchey nefi* [Lament for falling oil prices]. Argumenty Nedeli. № 2 (493) on 21-27 January 2016. pp. 3, 5.
11. Andreev E. *Dlya spaseniya ekonomiki nuzhny politicheskie reformy (interv'y u S.Aleksashenko, b.zam ministra finansov)* [To save the economy needs political reforms (Interview with S.Aleksashenko, b.zam Minister of Finance)]. Novaya Gazeta. №8 from 22.01.2016. pp. 10.
12. Uglanov A. *Toksikomany* [Addicts]. Argumenty Nedeli. № 2 (493). 21-27.01.2016. pp. 1-2.
13. *Vystuplenie predsedatelya TsK KPRF G.A. Zyuganova na plenarnom zasedanii Gosdumy 19 yanvarya. Gaz* [Address by the Chairman of the Central Committee Communist Party, GA Zyuganov at the plenary session of the State Duma on 19 January. Gas.]. True. № 5 (30356). 01.21.2016. pp. 1.
14. Moiseev N.A., *Tret'yakov A.G., Treyfel'd R.F. Lesoustroystvo v Rossii* [Forest management in Russia]. Moscow: MSFU, 2014. 268 p.
15. Moiseev N.A. *Metodologiya formirovaniya strategii lesoupravleniya i razvitiya lesnogo sektora ekonomiki* [Methodology of formation of forest management and development strategy of forest sector]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2013. № 4 (96). 240 p.
16. Moiseev N.A. *Ekonomika lesnogo khozyaystva* [Economy Forestry]. Moscow: MSFU, 2012. 399 p.
17. Inozemtsev V. *Vse idut po planu. Rossiyanе veryat, chto gosudarstvo pridet k nim na pomoshch', - otsyuda pozitivnoe otnoshenie k «raspredelitel'noy ideologii* [All going according to plan. The Russians believe that the government will come to their aid - hence the positive attitude to the “distribution of ideology]. Moskovsky Komsomolets. 02.20.2016. - S. 3.

ПЕРВЫЕ ПРЕПОДАВАТЕЛИ-МАТЕМАТИКИ МОСКОВСКОГО ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА. ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ТВОРЧЕСКИХ СУДЕБ (К 100-ЛЕТИЮ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ЛЕСА)

А.В. КОРОЛЬКОВ, проф. МГУЛ, д-р. физ.-мат. наук⁽¹⁾,
А.Н. НЕМЕНОК, студент МГУЛ⁽¹⁾,
К.К. РЫБНИКОВ, доц. ООО «Полиэдр», канд. физ.-мат. наук⁽²⁾,
М.Н. ЧАВКИНА, студент МГУЛ⁽¹⁾,
О.К. ЧЕРНОБРОВИНА, доц. МГУЛ⁽¹⁾

korolkov@mgul.ac.ru, alisa.nemenok95@list.ru, kkrybnikov@mail.ru, maria16.04@mail.ru, olga@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

⁽²⁾ ООО «Полиэдр» 107143, Москва, шоссе Открытое, д. 20, стр. 1

В преддверии столетия Московского государственного университета леса авторы статьи преследуют цель отметить один из недостаточно еще изученных периодов его истории. Они сделали попытку проследить и до известной степени проанализировать дальнейшее пересечение творческих судеб членов уникального педагогического коллектива математиков-преподавателей Московского лесотехнического института, сложившегося в период 1919–1926 гг. Н.Н. Лузин, С.А. Чаплыгин, О.Ю. Шмидт, И.И. Привалов, Д.Е. Меньшов, Н.К. Бари – эти имена известны любому математику нашей страны. Тематику представленной статьи можно определить, как пограничную между классической и социальной историей математики.

Ключевые слова: Московский лесотехнический институт, тригонометрический ряд, дескриптивная теория функции, приближенное интегрирование, дифференциальные уравнения.

I. Создание Московского лесотехнического института. Становление советской системы инженерного образования

*Первой потребностью народа после
хлеба является образование.
Жорж Дантон.*

Сейчас представляется удивительным, что с первых лет существования советского государства в условиях Гражданской войны и разрухи были предприняты шаги по организации новых технических вузов. В основном они были учреждены на базе более старых учебных заведений.

Так, например, уже в 1918 г. организационно оформился Иваново-Вознесенский политехнический институт. В этом случае база его создания оказалась весьма солидной, так как еще в 1915 г. в Иваново-Вознесенск был эвакуирован Рижский политехнический институт. Среди преподавателей-математиков выделяется Николай Николаевич Лузин (с 1919 по 1921 г.) – основатель отечественной школы по изучению дескриптивной теории функций. Кроме того, там работали ученики

Д.Е. Меньшов (с 1920 по 1922 г.), М.Я. Суслин (1918-1919 г.), а также близкий по научным интересам Н.Н. Лузину его последователь А.Я. Хинчин (с 1918 по 1926г.).

Первыми новыми инженерными институтами были Одесский политехнический институт (1918 г.). Тбилисский политехникум (с 1919 г. открыты инженерные факультеты), Азербайджанский политехнический институт (1919 г.) [1].

Постановлением Совета Народных Комиссаров от 4 декабря 1919 г. в Москве был открыт первый в истории России лесной вуз инженерного профиля – Московский лесотехнический институт (МЛТИ). Ректором МЛТИ был назначен Виктор Эмильевич Классен – известный специалист в области гидравлики. Несмотря на то, что он не являлся членом РСДРП(б), доверие к нему со стороны руководства страны было безграничным. Являясь профессором Горной Академии, он одновременно был членом Коллегий Главтопа, Главугля и Главпрофобра, а также членом Государственного Ученого Совета.

В состав МЛТИ вошли четыре факультета (механический, химический, лесомелио-

ративный и экономический). В.Э.Классену удалось создать сильный педагогический коллектив, не уступающий самым известным в республике. О.Ю. Шмидт и И.И.Привалов читали аналитическую геометрию, Н.Н.Лузин вместе со своими молодыми учениками Д.Е.Меньшовым и Н.К.Бари вели занятия по математическому анализу, С.А. Чаплыгин и И.И.Привалов – по теоретической механике, А.Ф.Иоффе и В.К.Аркадьев – по физике.

Технические дисциплины преподавали Ф.В.Ленгник и П.В.Кирпичев (прикладная механика и детали машин), М.К.Поливанов (электрика), В.Э.Классен (гидравлика).

К 1923 г. МЛТИ оказался третьим по числу студентов институтом в Москве.

В финансовом отношении институт окреп настолько, что его ректор В.Э.Классен подал докладную записку в Совнарком о возможности полного самообеспечения института без какого-либо бюджетного государственного содержания. (В это время в ведении МЛТИ находился солидный хозяйственный комплекс: совхозы «Колычево» и «Секерино» в Московской губернии, Мытищинское, Измайловское и Лосино-Островское лесничества, опытные фанерщики и мебельная фабрика).

Тем не менее, в конце 1923 г. В.Э.Классен получает новое назначение, а в начале 1925 г. было принято Постановление СНК РСФСР о переводе в Ленинград Московского Лесного института (так после присоединения к МЛТИ одного из факультетов Тимирязевской Академии стал называться институт).

Предлог для такого решения выглядел надуманным. С точки зрения составителей проекта этого постановления, невозможно было решить вопрос о предоставлении общежития студентам МЛТИ. Ни требование партийной организации, ни попытка С.А.Чаплыгина (к тому времени директора Центрального Аэро-Гидродинамического института (ЦАГИ) оставить процесс ликвидации МЛТИ не имели успеха. Надо сказать, что разрушению института препятствовал (хотя и несколько неуверенно) Нарком просвещения А.В.Луначарский) [2].

Можно ли назвать действия «группы ликвидаторов» вредительством? Так или иначе, но колоссальный вред (осознанно или

неосознанно) был нанесен лесоинженерному образованию. Попутно был разрушен и уникальный коллектив преподавателей.

Исторически пагубность перевода МЛТИ в Ленинград очень быстро подтвердилось. Уже в 1930 г. в Москве был открыт Московский лесотехнический институт по механической обработке твердых и ценных пород древесины.

II. Творческие пути математиков МЛТИ после 1926 г.

Пересекались ли судьбы и пути членов этого коллектива в дальнейшем? Почему после воссоздания МЛТИ в 1930 г. никто из них не продолжил там преподавание? Существенной причиной, конечно же, явилось то, что МЛТИ утратил былое положение среди московских вузов. В то же время московский университет во многом преодолел организационные и финансовые трудности первых лет советской власти и вновь привлек лучшие педагогические и научные кадры.

В университете стали преподавать талантливые молодые ученики Н.Н.Лузина – Н.К.Бари и Д.Е.Меньшов, а также член его кружка «Лузитания» И.И.Привалов.

Еще в 1915 г. Н.Н. Лузин сформулировал проблему о возможности представления любой измеримой функции $f(x)$ тригонометрическим рядом, который сходил бы почти всюду к $f(x)$. Условие необходимости конечности почти всюду было доказано Н.Н.Лузиным совместно с И.И.Приваловым [6][7].

Н.К.Бари продолжала исследования в русле работ своего учителя. Ей принадлежат исследования однозначности определения коэффициентов тригонометрического ряда на изображаемой им функции

Д.Е.Меньшов занялся исследованиями проблемы Лузина, что, в конечном счете, привело его к доказательству теоремы о том, что любая почти всюду конечная измеримая 2π -периодическая функция $f(x)$ представима тригонометрическим рядом, который сходится почти всюду к $f(x)$ [6].

О.Ю. Шмидт, продолжая исследования в области теории групп (статьи «О парадоксе Bertrand'a», «Группы, имеющие только один

класс неинвариантных подгрупп»), в значительной степени был занят государственной и политической деятельностью, занимая различные руководящие посты. Член коллегии Наркомпроса, главный редактор Большой Советской Энциклопедии, член президиума ЦЕКУБУ, заместитель начальника Центрального статистического управления, член президиума Главного Ученого Совета, член президиума Госплана – вот далеко не полный их перечень .

Преподавание математических учебных курсов стало уже второстепенным делом в его жизни, хотя он преподавал во 2-ом МГУ, а в 1930 г. стал заведующим кафедрой алгебры 1-го МГУ.

В 1931 г. он назначается начальником полярной экспедиции на ледоколе «А.Сибиряков», и с этого момента начинается период его исследований Арктики [10] [3].

Представляется, что его отношения с Н.Н.Лузиным всегда были несколько напряженными. Как известно, он принял деятельное участие в работе комиссии Президиума АН СССР по так называемому «Делу академика Лузина» в 1936 г. [4].

Ш. С.А.Чаплыгин и Н.Н.Лузин. Работа в ЦАГИ.

Что же касается С. А.Чаплыгина, то он сыграл значительную позитивную роль в жизни Н.Н.Лузина.

В момент определенного давления на него со стороны «обновленного» Московского математического общества, президентом которого был избран Э.Кольман, С.А.Чаплыгин пригласил Н.Н.Лузина на работу в Центральный аэро-гидродинамический институт (ЦАГИ), который он возглавлял, для работы в знаменитой общетеоретической группе. В этой группе работали такие талантливые ученые, как В.В.Голубев и М.А.Лаврентьев. Группа осуществляла анализ практически всех перспективных разработок ЦАГИ [11].

В отделе кадров ЦАГИ сохранился архивный документ от 20 ноября 1930 г. о зачислении Н.Н. Лузина на должность старшего инженера с окладом 300 руб. в месяц. Известно, что, по крайней мере, в 1936 г. Н.Н. Лузин все еще состоял в штатах ЦАГИ [4].

Трудно в рамках настоящей статьи описать всю трудность положения Н.Н.Лузина в конце 20-х гг. Приведем только один документ – донос Э.Кольмана , хранящийся ныне среди других документов по «Делу академика Лузина» в Архиве Президента РФ [4].

СЕКРЕТНО

Член Академии наук математик Н.Лузин, избранный в 1929 г. по кафедре философии, отказался подписать обращение советских ученых к заграничным по поводу процесса Промпартии и в знак протеста против реорганизации Московского математического института и Московского математического общества, президент которого ЕГОРОВ арестован, ЛУЗИН оставил работу в Московском математическом институте и ушел в ЦАГИ. Так как ЛУЗИН является специалистом по абстрактнейшей части теории множеств, не имеющей никаких практических приложений, и в качестве руководителя так называемой Московской математической школы, он хвастает, что «никогда не решил ни одного конкретного уравнения», то вряд ли в ЦАГИ он может принести большую пользу.

Нужно подчеркнуть, что ЛУЗИН близко связан с виднейшим французским математиком БОРЕЛЕМ, активным сотрудником Французского военного ведомства. В бытность свою 1929 г. в Париже ЛУЗИН гостил у БОРЕЛЯ.

О воинствующем идеализме ЛУЗИНА красноречиво говорит следующая выдержка из отчета на заседании Академии о его заграничной поездке: «повидимому, натуральный ряд чисел не представляет из себя абсолютно объективного образования. Повидимому, он представляет собой функцию головы того математика, который в данном случае говорит о натуральном ряде. Повидимому, среди задач арифметики есть задачи абсолютно неразрешимые». На эту тему ЛУЗИНЫМ во время командировки во Францию написана книга и там же издана.

Кроме ЛУЗИНА в самое последнее время стал работать в ЦАГИ профессор КАСТЕРИН, ушедший демонстративно из Института Физики при 1 МГУ, где он вел разлагающую антиобщественную работу.

22/2.31 Э. Кольман»

Фантастические доносы на Н.Н. Лузина и С. А. Чаплыгина содержали «достоверные» факты об их причастности к мифическому «Национально-фашистскому центру» и даже о встречах с А. Гитлером [4].

Автор доноса Э. Кольман (математик по образованию) в 30-х гг. возглавлял отдел науки МГК партии и пользовался поддержкой главного редактора газеты «Правда» Э. Мехлиса, члена ЦК партии.

Нужно заметить, что Э. Кольман часто брал на себя роль эдакого «партийного инквизитора». Так, в 1931 г. в журнале ЦК партии «Большевик» (№2) он писал: «Подмена борьбы за партийность науки либерализмом тем более преступна, что носителями теорий являются маститые профессора: махист Френкель в физике, Гурвич и Берг в биологии, Кольцов в евгенике, Вернадский в геологии, Егоров и Богомоллов в математике. Все они выводят каждый из своей науки реакционнейшие социальные теории» [4] [5].

Остается упомянуть о том, что в тяжелый для Н.Н. Лузина период работы комиссии Президиума АН СССР в 1936 г., которая предъявила ему ряд обвинений политического и научного характера, С.А. Чаплыгин остался верен своему кодексу чести ученого и выступил в защиту своего коллеги.

В письме академику В.И. Вернадскому, помимо просьбы помочь Н.Н. Лузину, он приводит текст своей телеграммы [12].

Копия телеграммы акад. Лузину

Поражен неожиданными, совершенно незаслуженными газетными нападками на Вас. Ваш высокий всемирно признанный научный авторитет не может быть поколеблен. Твердо надеюсь, что Вы найдете в себе силы спокойно отнестись к малоавторитетной критике Ваших трудов. О совершенно необоснованных обвинениях другого порядка не говорю.

Академик Чаплыгин

Нет сомнения, что это письмо повлияло на решимость старых членов Академии Наук (В.И. Вернадского, А.Н. Крылова, Н.В. Насонова, П.Л. Капицы) поддержать Н.Н. Лузина [4].

Научная деятельность Н.Н. Лузина в составе теоретической группы ЦАГИ, которую впоследствии возглавил сам С.А. Чаплыгин, показывает, что Н.Н. Лузин не был, как его

потом пытались представить некоторые гонители, рафинированным теоретиком.

В 1932 г. он пишет работу, посвященную качественному исследованию уравнения движения поезда [8], развивая идеи Н.Е. Жуковского, А.Н. Крылова и С.А. Чаплыгина [8, 9, 13, 14].

В 1919 г. Н.Е. Жуковский и С.А. Чаплыгин опубликовали свои исследования о движении поезда, опираясь на аппарат приближенного решения соответствующего дифференциального уравнения для различных частных случаев. Заслугой Н.Н. Лузина является приведение задачи к исследованию дифференциального уравнения вида

$$\frac{du}{ds} = \Psi(u) + \Phi(s)$$

для которого он показал, что всякое решение $u(s)$ при $s \rightarrow \infty$ асимптотически приближается к предельному решению [7, 8].

Далее исследование метода приближенного интегрирования дифференциальных уравнений С.А. Чаплыгина привело Н.Н. Лузина к его геометрической интерпретации, а затем к оценке быстроты сходимости этого метода [9].

Другим направлением прикладных исследований Н.Н. Лузина явился анализ возможных математических методов предсказания погоды на основе метеорологических наблюдений за большой промежуток времени [7].

Следствием этих исследований было открытие нового класса тригонометрических полиномов – тригонометрических полиномов, наименее уклоняющихся от данной функции. Эти результаты Н.Н. Лузина сравнимы с теорией полиномов Чебышева и демонстрируют новый подход в общей теории интерполирования.

Так причудливо переплелись судьбы преподавателей-математиков МЛТИ первого периода его существования.

О втором периоде (1930–1936 гг.) известно немного. По воспоминаниям профессора В.А. Баженова, студента МЛТИ того времени, математику у них вел профессор В.А. Кудрявцев (1886–1953). Его лекции были, по его словам, «запоминающимися» [2][3]. Авторы предполагают, что в данном случае имела место рекомендация Н.Н. Лузина, который хорошо знал В.А. Кудрявцева и даже представлял его канди-

датуру на степень доктора математических наук honoris causae («почетного доктора» или «доктора по совокупности работ») [3][4].

Библиографический список

1. История математического образования в СССР, АН УССР / И.З. Штокало, А.Н. Богомолов. – Киев: Наукова думка, 1975. – 384 с.
2. Лестех. Начало: 1919-1953гг. Московский лесотехнический институт в документах и воспоминаниях. 2-е изд. доп. и исправ. / А.М. Волобаев, А.Ю. Сенькин. – М.: МГУЛ, 1999. – 270 с.
3. Рыбников, К.К. Математики Московского государственного университета леса / К.К. Рыбников. – М.: МГУЛ, 2009. – 132 с.
4. Дело академика Николая Николаевича Лузина / С.С. Демидов, Б.В. Левшин. – С-Пб: РХ ГИ, 1999. – 312 с.
5. Алексеев, П.Ф. Философы России XIX–XX столетий. Биографии. Идеи. Труды / П.Ф. Алексеев. – М.: Академический проект, 1999. – 944 с.
6. Александров, П.С. Математическая жизнь в СССР Д.Е.Меньшов К 70-летию со дня рождения / П.С. Александров, П.Л. Ульянов // Успехи математических наук. – XVIII. – Вып. 5(107). – 1962. – С. 160–175.
7. Николай Николаевич Лузин (к 100-летию со дня рождения) / П.И. Кузнецов. – М.: Знание, 1983. – 64 с.
8. Лузин, Н.Н. О качественном исследовании уравнения движения поезда / Н.Н. Лузин // Математический сборник. – 1932. – № 3(39). – С. 6–26.
9. Лузин, Н.Н. О методе приближенного интегрирования С.А.Чаплыгина / Н.Н. Лузин // Труды ЦАГИ. – 1932. – Вып. 141 – С. 1–52.
10. Шмидт, О.Ю. Избранные труды / О.Ю. Шмидт, А.Г.Курош. – М.: АН СССР, 1959. – 315 с.
11. Голубев, В.В. Сергей Алексеевич Чаплыгин / В.В. Голубев. – М.: ЦАГИ, БНТ, 1947. – 121 с.
12. Вернадский, В.И. Переписка с математиками / В.И. Вернадский, (состав. М.И.Кратко). – М.: МГУ, 1996. – 112 с.
13. Лузин, Н.Н. О методе академика А.Н.Крылова составления векового уравнения / Н.Н. Лузин Часть I-Известия АН СССР // ОМЕН. – 1931. – № 7. – С. 903–958.
14. Лузин, Н.Н. О некоторых свойствах перемещающего множителя в методе академика А.Н. Крылова / Н.Н. Лузин // Часть I- Известия АН СССР, ОМЕН. – 1932. – №5. – С. 595–638; Часть II- Известия АН СССР, ОМЕН. – 1932. – №6. – С.735–762; 1932. – №8. – С. 1066–1102.

THE FIRST TEACHERS OF MATHEMATICS IN MOSCOW INSTITUTE OF FORESTRY. CREATIVE FATES OVERLAP (THE 100TH ANNIVERSARY OF THE MOSCOW STATE FOREST UNIVERSITY)

Korolkov A.V., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; Nemenok A.N., MSFU⁽¹⁾; Rybnikov K.K., POLIEDR, Ph.D. Sci. (Tech.)⁽²⁾; Chavkina M.N., MSFU⁽¹⁾; Chernobrovina O.K., Assoc. Prof. MSFU⁽¹⁾

korolkov@mgul.ac.ru, alisa.nemenok95@list.ru, kkrybnikov@mail.ru, maria16.04@mail.ru, olga@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytishi, Moscow reg., Russia
⁽²⁾ «POLIEDR», Open Highway, 20, Moscow, 107145

In anticipation of a century anniversary of the Moscow State Forest University, the authors aim to emphasize one of the insufficiently studied periods of its history. They made an attempt to follow and to some extent further analyze the overlap of the teaching staff members' creative fate who were unique teachers of mathematics in the Moscow Forestry Engineering Institute which was in the process of its establishing in the period of 1919-1926 years. NN Luzin, Chaplygin SA, O.YU Schmidt I.I Privalov, AE Menchov, NK Bari are the names of mathematicians well-known by everybody in this country. The topic of the present article can be considered an interdisciplinary one dealing with both classical and social history of mathematics.

Keywords: Moscow Institute of Forestry, trigonometric series, the theory of the descriptive function, approximate integration, differential equations.

References

1. Shtokalo I.Z., Bogomolov A.N. *Istoriya matematicheskogo obrazovaniya v SSSR, AN USSR* [The history of mathematical education in the USSR, the Ukrainian Academy of Sciences]. Kiev: Naukova Dumka, 1975. 384 p.
2. Volobaev A.M., Sen'kin A.Yu. *Lestekh. Nachalo: 1919-1953gg. Moskovskiy lesotekhnicheskiiy institut v dokumentakh i vospominaniyakh* [Lestekh. Start: 1919-1953gg. Moscow Institute of Forestry in the documents and memoirs. 2nd ed. ext. and Corrected]. Moscow: MSFU, 1999. 270 p.
3. Rybnikov K.K. *Matematiki Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa* [Mathematics of the Moscow State Forest University]. Moscow: MSFU, 2009. 132 p.
4. Demidov S.S., Levshin B.V. *Delo akademika Nikolaya Nikolaevicha Luzina* [Case of Academician Nikolai Nikolaevich Luzin]. Saint-Petersburg: RH GI, 1999. 312 p.
5. Alekseev P.F. *Filosofy Rossii XIX–XX stoletiy. Biografii. Idei. Trudy* [Philosophers of Russia in XIX-XX centuries. Biographies. Ideas. Proceedings]. Moscow: Academic Project, 1999. 944 p.
6. Aleksandrov P.S., Ul'yanov P.L. *Matematicheskaya zhizn' v SSSR D.E.Men'shov K 70-letiyu so dnya rozhdeniya* [Mathematical Events in the USSR Men'shov 70th anniversary]. Successes of Mathematical Sciences. XVIII. Vol. 5 (107). 1962. C. 160-175.
7. Kuznetsov P.I. *Nikolay Nikolaevich Luzin (k 100-letiyu so dnya rozhdeniya)* [Nikolai Nikolaevich Luzin (on the 100th anniversary of his birth)]. Moscow: Knowledge, 1983. 64 p.
8. Luzin N.N. *O kachestvennom issledovanii uravneniya dvizheniya poezda* [Qualitative study of the train motion equations]. Mathematical Collection. 1932. № 3 (39). pp. 6-26.
9. Luzin N.N. *O metode priblizhennogo integrirvaniya S.A.Chaplygina* [On the method of approximate integration by SA Chaplygin]. Trudy TsAGI. 1932. Vol. 141 pp. 1-52.
10. Shmidt, O.Yu., Kurosh A.G. *Izbrannye trudy* [Selected Works]. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1959. 315 p.
11. Golubev V.V. *Sergey Alekseevich Chaplygin* [Sergey Chaplygin]. Moscow: TsAGI, BNT, 1947. 121 p.
12. Vernadskiy V.I. *Perepiska s matematikami* [Correspondence with mathematicians]. Moscow: Moscow State University, 1996. 112 p.
13. Luzin N.N. *O metode akademika A.N.Krylova sostavlenniya vekovogo uravneniya* [Academician Krylov's method of deriving a secular equation]. Omen. 1931. № 7. pp. 903-958.
14. Luzin N.N. *O nekotorykh svoystvakh peremeshchayushchego mnozhitelya v metode akademika A.N. Krylova* [Some properties of propelling factor in the method by academician AN Krylov] Part I- Proceedings of the USSR Academy of Sciences, The Omen. 1932. №5. pp. 595-638; Part II- Proceedings of the USSR Academy of Sciences, The Omen. 1932. №6. pp. 735-762; 1932. №8. pp. 1066-1102.

СТЕММИНГ И ЛЕММАТИЗАЦИЯ В LUCENE.NET

М.В. ЖЕРДЕВА, *асп., ГБОУ ВО МО «Технологический университет»⁽¹⁾*,

В.М. АРТЮШЕНКО, *проф., ГБОУ ВО МО «Технологический университет», д-р. техн. наук⁽¹⁾*

masha8908@rambler.ru

⁽¹⁾ ГБОУ ВО МО «Технологический университет»

141070 Московская область, г. Королев, ул. Гагарина, д. 42

В данной статье рассмотрены механизмы стемминга и лемматизации. Под стеммингом понимают приближенный эвристический процесс, в ходе которого от слов отбрасываются окончания в расчете на то, что в большинстве случаев это себя оправдает. Стемминг основан на правилах морфологии языка и не требует хранения словаря всех слов. Под лемматизацией понимается преобразование слова в словарный вид или лемму. Данный метод используется в алгоритмах поисковиков при индексировании интернет-страниц. Процесс дает возможность хранения данных страницы набором слов в индексе для удобной схематизации файлов. Это позволяет ускорить индексацию и сформировать более четкий ответ на поисковый запрос, так как сокращенную форму слова поисковик анализирует быстрее. Выделена цель стемминга и лемматизации. Показано применение стемминга и лемматизации в библиотеке полнотекстового поиска Lucene.Net. Lucene.Net – это перенесенный с платформы Java поисковый движок Lucene. Lucene – это высокопроизводительная, масштабируемая библиотека для полнотекстового поиска. Полнотекстовый поиск относится к процессу поиска документов, информации в документах или метаданных о документах. Lucene позволяет добавлять возможности поиска в различные приложения. Главной особенностью библиотеки является то, что требуется малый объем памяти, наличие ранжированного поиска, возможность одновременного поиска и обновления индекса, поиск, основанный на «полях». Lucene в настоящее время и на протяжении уже несколько лет является самой популярной свободной библиотекой полнотекстового поиска. Предложена идея модификации алгоритма полнотекстового поиска Lucene.Net для быстрого и релевантного поиска ключевых слов.

Ключевые слова: полнотекстовый поиск, стемминг, лемматизация, лемма, стоп-слова, токен.

Lucene.Net – это перенесенный с платформы Java поисковый движок Lucene. Lucene – это высокопроизводительная, масштабируемая библиотека для полнотекстового поиска.

Главной задачей Lucene.NET является решение проблемы избытка информации. С данной проблемой сталкивается любой разработчик. Lucene.NET – это высокопроизводительная масштабируемая библиотека информационного поиска. На данный момент она является самой популярной свободной библиотекой информационного поиска. Lucene.NET предоставляет простой, но очень мощный API, который требует минимума понимания механизмов текстовой индексации и поиска.

Одним из полезных средств, используемых в механизмах полнотекстового поиска, является стемминг.

Стеммингом обычно называется приближенный эвристический процесс, в ходе которого от слов отбрасываются окончания в расчете на то, что в большинстве случаев это себя оправдает. Стемминг основан на правилах морфологии языка и не требует хранения словаря всех слов. [4]

Таким образом, стемминг отсекает от слова окончания и суффиксы, чтобы оставшаяся часть была одинаковой для всех грамматических форм слова.

Более сложным подходом к решению проблемы определения основы слова является лемматизация.

Цель стемминга и лемматизации одна – привести словоформы и производные формы слова к общей основной форме.

Лемматизацией называется преобразование слова в словарный вид или лемму. Данный метод используется в алгоритмах поисковиков при индексировании интернет-страниц. Процесс дает возможность хранения данных страницы набором слов в индексе для удобной схематизации файлов. Это позволяет ускорить индексацию и сформировать более четкий ответ на поисковый запрос, так как сокращенную форму слова поисковик анализирует быстрее.

Лемма – это первоначальная, основная форма слова. Для существительных и прилагательных ею является форма единственного числа именительного падежа. Для глаголов лемма является инфинитивом, неопределен-

ной формой слова, отвечающей на вопрос в инфинитиве [1, 2, 3].

Механизм стемминга в Lucene.Net

Механизм стемминга позволяет приводить разные формы одного слова к общей форме. Например, слова «электрическая гитара» и «электрические гитары» – разные формы одного и того же слова. Без применения данного механизма они будут сохраняться в поисковом индексе в качестве разных токенов, а запросы по данным словам будут возвращать разные результаты. Если же привести их к одной форме, то проблема решается, и запросы будут возвращать один результат. Стеммер обрабатывает отдельное слово без знания контекста. Из-за этого он не может дифференцировать слова, которые имеют разные значения, т.к. они отнесены к разным частям речи. [4]

Для поддержки данной возможности в Lucene используется специальный анализатор.

Входными данными для анализатора является поток символов, представленный объектом Reader. С помощью объекта Tokenizer данный поток разбивается на последовательность токенов. После этого последовательность проходит через группу фильтров. Количество фильтров может быть произвольным и может быть нулевым. Фильтры могут добавлять новые токены, модифицировать, а также удалять существующие. Пример такого фильтра – StopFilter, позволяющий исключить из индексации лишние слова, т.е. стоп-слова. [4]

Стоп-слова – это слова, не несущие какой-либо самостоятельной смысловой нагрузки. В целях уменьшения базы данных системы не учитывают стоп-слова при индексировании, заменяя их специальным маркером. К ним относятся союзы и союзные слова, местоимения, предлоги, частицы, междометия, указательные слова, цифры, знаки препинания, вводные слова, ряд некоторых существительных, глаголов, наречий (например всегда, однако и др.).

В связи с постоянным развитием и усовершенствованием существующих алгоритмов поиска, классификации, кластериза-

ции и пр. базы данных стоп-слов обновляются и изменяются.

Еще в качестве примера фильтра могут выступать стемминг-фильтры. Данный фильтр преобразует каждый токен к общей форме. В результате стемминг-анализатор возвращает последовательность токенов, преобразованных к общей форме.

В Lucene стемминг реализован в виде класса RussianAnalyzer. Необходимо задать язык при создании анализатора, для которого будет использоваться стемминг. Поддерживается довольно много языков, но возможности использовать многоязычный стемминг стандартная реализация не предоставляет.

Основная проблема, возникающая при использовании стеммера – это обработка слов, которые при образовании разных грамматических форм меняют не только окончание, но и основу слова.

В Lucene используется стемминг на основе алгоритма Портера. Алгоритм Портера, применяя последовательно ряд правил, отсекает окончания и суффиксы, не используя баз основ слов. Благодаря этому он работает быстро, но не всегда безошибочно.

Алгоритм состоит из пяти шагов. На каждом шаге отсекается словообразующий суффикс и оставшаяся часть проверяется на соответствие правилам (например, для русских слов основа должна содержать не менее одной гласной). Если полученное слово удовлетворяет правилам, происходит переход на следующий шаг. Если нет – алгоритм выбирает другой суффикс для отсечения. На первом шаге отсекается максимальный словообразующий суффикс, на втором – буква «и», на третьем – словообразующий суффикс, на четвертом – суффиксы превосходных форм, «ь» и одна из двух «н».

Минусы данного алгоритма:

- часто обрезает слово больше необходимого, что затрудняет получение правильной основы слова;

- не справляется с изменениями корня слова (например, выпадающие и беглые гласные) [5–10].

В Lucene стемминг реализован в виде класса RussianAnalyzer. Необходимо задать

язык при создании анализатора, для которого будет использоваться стемминг. Поддерживается довольно много языков, но возможности использовать многоязычный стемминг стандартная реализация не предоставляет.

Механизм лемматизации в Lucene.Net

Необходимо знать, как создаются различные формы слова, чтобы понимать работу лемматизации. Большинство слов изменяется, когда они используются в различных грамматических формах. Конец слова заменяется на грамматическое окончание, что приводит к новой форме исходного слова. Лемматизация выполняет обратное преобразование – она заменяет грамматическое окончание суффиксом или окончанием начальной формы.

Также лемматизация включает определение части речи слова и применение различных правил нормализации для каждой части речи. Определение части речи происходит до попытки найти основу, поскольку для некоторых языков правила стемминга зависят от части речи данного слова.

В связи с постоянным развитием и усовершенствованием существующих алгоритмов поиска, классификации, кластеризации и пр. базы данных стоп-слов обновляются и изменяются.

Высокая скорость является критерием эффективного индексирования. Она зависит от количества форм слова – чем их меньше, тем раньше закончится схематизация документа.

Словарный лемматизатор, имеющийся в грамматическом словаре, позволяет с намного более высокой точностью находить базовую форму слова из любой грамматической. Если сравнивать результат лемматизации искомого ключевого слова и слов, читаемых из текста, то получается поиск текста с учетом морфологии.

Таким образом, лемматизатор – это оптимизированный и максимально упрощенный морфологический анализатор.

Заключение

Операция лемматизации позволяет увеличить полноту и точность информацион-

ного поиска, т.к. во время операции стемминга отсутствует морфологическая обработка, из-за чего часто в выборку попадают документы, не релевантные запросу, но содержащие совпадающие формы, в то время как в релевантных документах данные слова употребляются в другой форме.

Эффективное индексирование позволяет проводить только лемматизация. В этом случае под эффективностью подразумевают скорость индексирования. Скорость индексирования зависит от количества анализируемых слов и их форм. Чем больше слов приходится обрабатывать, тем процесс индексирования идет медленнее. Лемматизатором называют программу или модуль программы, проводящие лемматизацию. Главной его задачей является то, что он улучшает релевантность поиска. Также лемматизатор уменьшает количество анализируемых слов.

Благодаря этому возникает идея использовать лемматизацию вместо стемминга.

Библиографический список

1. Нистратова, М.В. Алгоритмы поиска, используемые в Lucene.Net / М.В. Нистратова // Вестник МГУЛ –Лесной вестник – №6'2016 Том 19.
2. Нистратова, М.В. Алгоритмы поиска релевантной информации в полнотекстовых базах данных / М.В. Нистратова // Естественные и технические науки. – 2015. – № 10.
3. Нистратова, М.В. Оценка эффективности поиска документальной информации в системах единой авторизации / М.В. Нистратова, В.Г. Кулагин // Двойные технологии. – №1. – 2016.
4. Полнотекстовый поиск в веб-проектах: Sphinx, Apache Lucene, Xapian. Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/30594/>
5. Стемминг и лемматизация. Режим доступа <http://delaem-krasivo.ru/programmirovanie/234-stemming-i-lemmatizaciya.html>
6. Стемминг. Режим доступа: <http://gruzdoff.ru/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B5%D0%BC-D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B3>
7. Стратегии поиска и выдачи информации. Режим доступа: <http://studall.org/all-130662.html>
8. Тихонов, В. Поисковые системы в сети Интернет. Режим доступа: <http://www.citforum.ru/internet/search/searchsystems.shtml>
9. Шарапов, Р.В., Шарапова Е.В., Саратовцева Е.А., Модели информационного поиска. Режим доступа: <http://vuz.exponenta.ru/PDF/FOTO/kaz/Articles/sharapov1.pdf>
10. Язык запросов Lucene.NET. Режим доступа: <https://pavelbelousov.wordpress.com/2011/03/23/язык-запросов-lucene-net/>

STEMMING AND LEMMATIZATION IN LUCENE.NET

Zherdeva M.V., pg. «University of Technology»⁽¹⁾; Artyushenko V.M., Prof. «University of Technology», Dr Sci. (Tech.)⁽¹⁾

masha8908@rambler.ru,

⁽¹⁾ «University of Technology», 141070 Moscow region, Korolev, ul. Gagarin, 42

In this article mechanisms stemming and lemmatization are considered. Under Stemming understand approximate heuristic process, in which the words are dropped from the end, based on the fact that in most cases it is very rewarding. Stemming is based on the morphology of the language rules, and does not require storage of a dictionary of all the words. By lemmatization understood transform words into the dictionary views or lemma. This method is used in the algorithms of search engines when indexing web pages. The process makes it possible to store the data page a set of words in the index for easy schematic files. This allows you to speed up indexing and form a clear answer to a search query as a shortened form of the word the search engine analyzes faster. The purpose of stemming and lemmatization is allocated. Application of a stemming and lemmatization in library of full text search Lucene.Net is shown. Lucene.Net is the search cursor of Lucene postponed from the Java platform. Lucene is a high-performance, scalable library for full text search. Full text search belongs to process of search of documents, information in documents or metadata on documents. Lucene allows to add features for search in various applications. The main feature of library is, the fact that the small memory size, existence of the ranged search, a possibility of simultaneous search and updating of an index, the search founded on «fields» is required. Lucene now and throughout already several years is the most popular free library of full text search. Proposed the idea of modification of algorithm of full-text search Lucene.Net for quick and relevant search engine keywords.

Key words: full text search, stemming, lemmatization, Lemma, stopwords, token.

References

1. Zherdeva, M.V. Algoritmy poiska, ispol'zuemye v Lucene.Net [Search algorithms used in lucene.net] – ZHurnal VAK «Lesnoj vestnik» [Journal VAC «Forest Bulletin»] – №6'2016 Tom 19
2. Nistratova, M.V. Algoritmy poiska relevantnoj informacii v polnotekstovyyh bazah dannyh [Search algorithm relevant information in the full-text databases] – ZHurnal VAK «Estestvennyye i tekhnicheskie nauki» (oktyabr' 2015, zhurnal № 10) [Journal VAC «Natural and technical science» (october, 2015, Journal No. 10)]
3. Nistratova, M. V., Kulagin V. G. Ocenka ehffektivnosti poiska dokumental'noj informacii v sistemah edinoj avtorizacii [Оценка эффективности поиска документальной информации в системах единой авторизации] – ZHurnal VAK «Dvojnyye tekhnologii» [Journal VAC «Двойные технологии»]. – №1. – 2016
4. Polnotekstovyy poisk v veb-proyektakh: Sfinks, Apache Lucene, Xapian. [Full-text search in web projects: Sphinx, Apache Lucene, Xapian.] Available at: <http://habrahabr.ru/post/30594/>
5. Stemming i lemmatizaciya [Stemming and lemmatization]. Available at: <http://delaem-krasivo.ru/programmirovaniye/234-stemming-i-lemmatizaciya.html>
6. Stemming [Stemming]. Available at: <http://gruzdoff.ru/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%BC%D0%8%D0%BD%D0%B3>
7. Strategii poiska i vydachi informacii [Strategy of search and issue of information]. Available at: <http://studall.org/all-130662.html>
8. Tihonov, V. Poiskovyye sistemy v seti Internet [Search engines on the Internet]. Available at: <http://www.citforum.ru/internet/search/searchsystems.shtml>
9. SHarapov, R.V., SHarapova E.V., Saratovceva E.A. Modeli informacionnogo poiska [Models of information search]. Available at: <http://vuz.exponenta.ru/PDF/FOTO/kaz/Articles/sharapov1.pdf>
10. Yazyk zaprosov Lucene.NET [Language of inquiries Lucene.NET]. Available at: <https://pavelbelousov.wordpress.com/2011/03/23/yazyk-zaprosov-lucene-net/>

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ КОНТРАКТНОГО ПРАВА АНГЛИИ

А.А. КОСАРИНА, МГУ им. М.В. Ломоносова⁽¹⁾,
А.Е. ФЕДОТОВА, МГУ им. М.В. Ломоносова⁽¹⁾

alexa7979@yandex.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО МГУ им. М.В. Ломоносова, филологический факультет
119991, Москва, Ленинские горы, ГСП-1, 1-й корпус гуманитарных факультетов

В мире выделяются две основные традиции права: общее право и гражданское право. Общее право используется в таких странах, как Англия, Уэльс и Северная Ирландия, находящиеся в составе Великобритании, республика Ирландия, США, Канада и многие другие англоговорящие государства. Общее право не кодифицировано и основывается на доктрине прецедента – судебных решений, принятых ранее в подобных случаях. Прецеденты основываются на решениях судей и судебных процессах. В то же время, Общее право может опираться на статуты, законодательные решения. Председатель судебного состава определяет, какой прецедент должен быть применен к данному делу. Соответственно, роль судьи в странах, пользующихся Общим правом, крайне велика. Система Общего права значительно отличается от системы гражданского права. Для понимания разницы между ними изучены и проанализированы исторические факторы формирования системы общего права в Англии и выделены основные стадии этого процесса.

Ключевые слова: общее право, контрактное право, система права, развитие контрактного права, английское право.

In Roman law, the key feature of any contract is mutual agreement between parties, or the so-called “consensus”. In Europe, the notion of a contract as the agreement between parties was formulated only at the end of the 19th century. Along with it, in such countries as England and the USA, another concept was formulated; it was based on the principle that the ground of any contract is a promise made by one party to another. As I.V. Beklenisheva states, the main role here was given not to the mutual agreement between the parties, but to the promise made by one party to another, which another party expects to be fulfilled [1, С. 120].

Such approach can be accounted for by a complicated historical, political and economic situation in England, which had a direct influence on the development of the Law of Contract.

Many Russian and foreign scholars have studied the historical aspects of English Contract Law, for example: K.K. Yaichkov, A.S. Komarov, I.V. Beklenisheva, A.D. Koretsky, R.O. Halfina, V. Anson, F. Pollok, E.A. Farnsworth, Konrad Zweigert, Hein Kutz and others [9-10].

Their studies have revealed that in historical legal documents great attention

is paid to regulating issues concerning trespassing, however next to nothing is written about contract obligations [2, С. 7]. According to R.O. Halfina, in Anglo-Saxon Law there was not any notion like “a contract”, however single exchange acts based on agreements took place and were under primitive juridical protection [3, С. 13].

In the late 11th century, the Norman Conquest put England closer to European countries and contributed to the development of the Roman law in the country [4, С. 351–360]. This period witnessed the emergence of economic, political and cultural ties between England, France, Germany and Spain; exchange links resulted in a growing need for contracts and agreements.

The strongest influence of the Roman Law was in the 12th-13th centuries, when the principles of Roman law were thoroughly studied and described in literature. Roman Law was taught at universities and attempts to establish English law on its basis were made. However, according to R.O. Halfina, England was not economically ready to adopt all the ideas and principles of the Roman law; since the exchange relationship was just in an embryo state, economic ties were weak and

social relations were still feudal [3, C. 26]. Even with the expansion of interstate relations, with the development of the exchange and with growth of cities, the principles of the Roman contract law were not adopted by England. It came as a result of the struggle against the influence of the Roman Catholic church, which took place in the 14th and 15th centuries. R.O. Halfina states that one of the features of the struggle was limiting jurisdiction of the church courts, where the Roman law was widely used [3, C. 27].

Thus, the regulation of contract relations in England developed within the Common Law system, was formulated in Royal Courts and based on traditions, customs and legislation of the Anglo-Saxon period. In England, there were three Common Law Courts: Court of King's Bench, Court of Common Pleas and Court of the Exchequer of Pleas. The first one dealt primarily with criminal cases, the second – with the civil ones and the third – with taxes and fees. However, there was no strict distribution of duties.

Another typical characteristic of English law lies in the fact that apart from Common Law there is another branch – Law of Equity. According to V. Anson, this branch was formed in the second half of the 14th century and was based on the decisions of Chancery. This law was more modern and flexible and later the opposition between Common Law and Law of Equity played a significant role in the formation of the English Contract Law system [5, C. 6].

In the 13th century there appeared two forms of action which defended the rights which can now be called “contract”. These were “covenant action” and “debt action”. The covenant action was accepted in courts only in case the agreement between the parties was written and sealed in wax. R.O. Halfina asserts that it was a significant step forward in the development of the English Contract Law, since for the first time in history it was formally acknowledged that an agreement between

parties brought about certain responsibilities [3, C. 37].

However, according to M.S. Fedorko, the covenant action included only official agreements, thus contradicting the idea of the informal exchange of promises: “иск “о соглашении” признавал только формальный договор, чем, по нашему мнению, противоречил идее неформального обмена обещаниями” [6]. Nevertheless, the covenant action laid the basis for formal contracts in modern English law.

The debt action presupposed that the respondent had money or property of the claimant. The responsibility of the respondent consisted in receiving certain material benefit (called *quid pro quo*) and providing certain service or benefit to the claimant. The respondent was found guilty in case he took something from the claimant but failed to fulfil his promise. However, the debt action could not be started if it was impossible to prove that the respondent received any money or property from the claimant. Later, courts expanded the sphere of use of this action so that anyone could claim that their money, material property or anything that was of significant value for the respondent should be returned, including the provided service [1, C. 24].

The debt action had many drawbacks. Firstly, it had no legal force in case promises to perform something in future were given. Secondly, the claimant could receive only a certain sum of money, the repaid debt, etc., but there was no compensation for losses caused by the failure of the respondent to fulfill the promise, even if the losses were considerable. Thirdly, the respondent could escape responsibility by means of denying his debt on oath and by having witnesses confirming his words. Moreover, the debt action could only be started against the respondent but not against his heirs. Apparently, the debt action was hardly effective when defending contract relations and, thus, from the second

half of the 16th century it started to go out of use.

Thus, it can be stated that covenant action and debt action laid the foundations for the beginning of legal contract relations. However, many authors follow the point of view that the introduction of trespass action marked the beginning [3, С. 41–57]. This action was less formal compared to the abovementioned ones and initially it was applied only in cases of serious trespasses. However, with time, the sphere of its use was expanded, so it began to be applied in order to compensate losses.

Another type of trespass action was the one called “deceit on the case”. It was widely used in the 14th – 15th centuries. According to it, each vendor was responsible for the quality of his goods [3, С. 54].

At the end of the 15th century, the courts began to regard respondent’s failure to fulfill the promise as the “assumpsit action” concerning the indemnity of losses. Such type of action defended the interests of the party which fulfilled its part of promise and thus, could receive the compensation of losses. An example of such an action was Slade’s Case (The details of the case are as such: John Slade (plaintiff) grew wheat and rye and sold the wheat and rye to Humphrey Morley (defendant). Morley promised to pay Slade 16 pounds in return. Morley did not pay, and Slade brought an action on the case on assumpsit. Morley argued that assumpsit was not a proper action. (<https://www.quimbee.com/cases/slade-s-case>), which, according to R. David, was the actual beginning of English contract law [7, С. 263]. R.O. Halfina asserts that this case was of a significant importance, as for the first time, a promise was legally defended [3, С. 62].

The English Contract Law was formed completely at the beginning of the 17th century. The assumpsit action was used to defend all the informal promises, whereas the covenant action defended all formal contracts. After the reform of the 1875, when all the actions

were abolished, a number of laws were introduced which not only did consolidate the old principles of the common law, but also brought certain innovations. Still, Common Law, due to its precedent nature, could not completely get rid of old principles and provisions, contained in old judicial decisions [2, С. 10].

Thus, it can be concluded that a number of factors had a direct influence on the formation of the English Contract Law. Firstly, it was the rapid development of the exchange relationship in the 12th – 13th centuries, which resulted in the emergence of two types of action: the covenant and the debt one. These actions defended the rights, which now can be defined as “contract” ones. Despite many positive aspects, these actions had drawbacks, the major of which was their ineffectiveness to specify the responsibility of the parties in informal promises. Later on, other types of actions emerged, such as trespass and the assumpsit one. Thus, all these forms laid the basis for modern English Contract Law.

Библиографический список

1. Бекленищева, И.В. Гражданско-правовой договор: классическая традиция и современные тенденции / И.В. Бекленищева. – М.: Статут, 2006. – 204 с.
2. Комаров, А.С. Ответственность в коммерческом обороте / А.С. Комаров. – М.: Юрид. литература, 1991. – 208 с.
3. Халфина, Р.О. Договор в английском гражданском праве / Р.О. Халфина. – М., 1959. – 319 с.
4. История средних веков // Е.А. Косминский, С.Д. Сказкин. – М., 1952. – Т. 1.
5. Ансон, В. Договорное право / В. Ансон. – М., 1984. – 463 с.
6. Федорко, М.С. Историко-правовые аспекты формирования и развития концепции договора в английском праве / М.С. Федорко // Вестник Одесского национального университета. – Одесса: Астропринт, 2008. – Т. 13. – Вып. 9. – С. 90.
7. Давид, Р. Основные правовые системы современности / Р. Давид. – М., 1988.
8. <https://www.quimbee.com/cases/slade-s-case>
9. Гражданское и торговое право капиталистических государств: учебник. – М., 1966.
10. Цвайгерт, К. Введение в сравнительное правоведение в сфере частного права. Т. 2. Договор. Неосновательное обогащение. Деликт / К. Цвайгерт, Х. Кетц; пер. с нем. Ю. М. Юмашевой. – М., 1998.

DEVELOPMENT OF ENGLISH CONTRACT LAW SYSTEM

Kosarina A.A., Faculty of Philology, Lomonosov Moscow State University⁽¹⁾; **Fedotova A.Ye.**, Faculty of Philology, Lomonosov Moscow State University⁽¹⁾

alexa7979@yandex.ru

⁽¹⁾Lomonosov Moscow State University, Faculty of Philology, Russia, 119991, Moscow, 1-51 Leninskiye Gory, GSP-1, 1st Corps Humanitarian faculties

There are two main legal traditions in the world – Common Law and Civil Law. Common Law is used in England, Wales and Northern Ireland in the UK, the Republic of Ireland, the USA, Canada and many other English-speaking countries. Common Law is not codified. It is based on the doctrine of precedence: judicial decisions that have been previously made in similar cases. Precedents are binding upon the judges and the court procedure. However, sometimes Common Law relies on statutes, which are legislative decisions. The presiding judge determines what precedents are to be applied to a new case. In consequence, judges play an enormous role in the countries with the Common Law tradition. Common Law system greatly differs from that of Civil Law. To understand the difference between the two is it important to analyze and study historical factors under which Common Law system was formed. The article describes the main factors that had direct influence on the development of Common Law system in England and singles out main stages of this process.

Keywords : common law, contract law, legal system, the development of contract law, English law.

References

1. Beklenishcheva I.V. *Grazhdansko-pravovoy dogovor: klassicheskaya traditsiya i sovremennye tendentsii* [Civil-law contract: classical tradition and modern trends]. Moscow: Statut, 2006. 204 p.
2. Komarov A.S. *Otvetstvennost' v kommercheskom oborote* [Responsibility in commerce]. Moscow: Legal Literature, 1991. 208 p.
3. Khalфина R.O. *Dogovor v angliyskom grazhdanskom prave* [Agreement in the English civil law]. M., 1959. 319 p.
4. *Istoriya srednikh vekov, t. 1. pod red. E.A. Kosminskogo i S.D. Skazkina* [History of the Middle Ages, Vol. 1, ed. EA Kosminskii and SD Skazkin]. Moscow, 1952.
5. Anson V. *Dogovornoe pravo* [Contract Law]. Moscow, 1984. 463 p.
6. Fedorko M.S. *Istoriko-pravovye aspekty formirovaniya i razvitiya kontseptsii dogovora v angliyskom prave* [Historical and legal aspects of the formation and development of the concept of contract in English law]. Bulletin of the Odessa National University. Odessa: Astroprint, 2008. V. 13. Vol. 9. C. 90.
7. David R. *Osnovnye pravovye sistemy sovremennosti* [The main legal systems of the present]. Moscow, 1988.
8. <https://www.quimbee.com/cases/slade-s-case>
9. *Grazhdanskoe i torgovoe pravo kapitalisticheskikh gosudarstv* [Civil and Commercial Law of the capitalist states]. Moscow, 1966.
10. Tsvaygert K., Ketts Kh. *Vvedenie v sravnitel'noe pravovedenie v sfere chastnogo prava. T. 2. Dogovor. Neosnovatel'noe obogashchenie. Delikt* [Introduction to comparative law in the field of private law. T. 2. Treaty. Unjust enrichment. Tort]. Moscow, 1998.