

Дмитренко Александр Иванович – доцент кафедры химии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: chem@vglta.vrn.ru

Ян Седлячик – декан факультета технологии и наук о древесине профессор кафедры мебели и изделий из древесины Технического университетат в Зволене, г. Зволен, Словакия, sedliacik@tuzvo.sk

DOI: 10.12737/article_5b240619cb5cc7.41270405

УДК 674-419.3:519.7

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СКЛЕИВАНИЯ ДРЕВЕСНОГО ШПОНА В УСЛОВИЯХ ПЛОСКОГО ПРЕССОВАНИЯ ФАНЕРЫ

кандидат физико-математических наук, доцент **Б.М. Кумицкий**¹,
кандидат физико-математических наук **Н.А. Саврасова**²,
кандидат технических наук, доцент **Е.В. Кангиева**³

1 - ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» г. Воронеж, Российская Федерация

2 - ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
г. Воронеж, Российская Федерация

3 - ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет»
г. Воронеж, Российская Федерация

В целях повышения качества производимой фанеры, древесно-слоистого материала разработана математическая модель, описывающая склеивание древесного шпона в условиях плоского прессования. В основе предлагаемой модели лежат процессы, протекающие в вязкой (ньютоновской) несжимаемой жидкости, находящейся в слое между двумя движущимися навстречу друг другу плоскопараллельными плоскостями конечных размеров. В рамках принципов механики сплошной среды в условиях плоского деформированного состояния, отсутствия объемных сил и инерционных эффектов (малая скорость смыкания плит пресса) совместно решаются уравнения вязкости и неразрывности связующей жидкости. Полученное при этом уравнение Лапласа для давления решалось методом полиномов. Это позволило получить напряженно-деформированное состояние исследуемой жидкости в плоскости скольжения, результаты которого позволяют управлять параметрами давления и скорости прессования при склеивании шпона. Кроме того, получены аналитические выражения для кинематических характеристик клеевой массы: распределение скоростей по плоскости скольжения, позволяющее качественное построение линий тока, касательные к которым совпадают с направлением скорости течения. При измененных условиях нагружения получена формула для определения времени прессования и коэффициента вязкости клея. Предлагаемая математическая модель может быть использована для описания физических процессов, протекающих при прессовании не только фанеры, но и других многослойных клееных материалов: бумажно-слоистых пластиков, сэндвич-панелей и др.

Ключевые слова: математическая модель, шпон, вязкость, ньютоновская жидкость, склеивание, прессование.

MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF WOOD VENEER GLUING IN THE CONDITIONS OF FLAT PRESSING OF PLYWOOD

PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor **B.M. Kumitsky**¹,

PhD (Physics and Mathematics) **N.A. Savrasova**²,

PhD (Engineering), Associate Professor **E.V. Kantieva**³

1 - FSBEI HE «Voronezh State Technical University», Voronezh, Russian Federation

2 - FSOMEI HE "Military Education and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh) the Ministry of Defense of the Russian Federation

3 - FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation

In order to improve the quality of the plywood and wood-laminated material, a mathematical model has been developed that describes gluing of wood veneer under conditions of flat pressing. The proposed model is based on processes occurring in a viscous (Newtonian) incompressible fluid in a layer between two plane-parallel planes of finite dimensions moving towards each other. Within the framework of the principles of continuum mechanics under conditions of a flat deformed state, the absence of volume forces and inertial effects (low speed of the press plates closing), equations of viscosity and continuity of binding fluid are jointly solved. The resulting Laplace equation for pressure has been solved by the method of polynomials. This made it possible to obtain the stress-strain state of the liquid under investigation in slip plane, the results of which enables to control the parameters of pressure and pressing speed when gluing veneers. In addition, analytical expressions have been obtained for the kinematic characteristics of glue mass: distribution of velocities along the slip plane, which allows the qualitative construction of streamlines tangential to which coincide with the direction of flow velocity. Under modified loading conditions, a formula has been obtained to determine pressing time and viscosity coefficient of the adhesive. The offered mathematical model can be used for description of physical processes proceeding at plywood and other multilayered glued materials pressing: paper-laminated plastics, sandwich panels, etc.

Keywords: mathematical model, veneer, viscosity, Newtonian fluid, gluing, pressing.

Несмотря на появление все новых современных материалов, фанера остается одним из самых применяемых и востребованных на мировом рынке товаров.

Россия занимает восьмое место в мире по производству фанеры и около 65% объема всей выпускаемой продукции, экспортируется [3]. В связи с этим, вопрос повышения ее качества является приоритетным.

Производство фанеры – многослойного клееного материала из тонких листов натуральной древесины (шпона) – является сложным физико-химическим процессом, в котором взаимодействуют многие факторы, имеющие значительное влияние на режимы склеивания и прессования. Для вы-

пуска качественной продукции важными технологическими параметрами являются температура, давление, продолжительность и скорость прессования, а также качество шпона и связующего.

Исследование в этом направлении ведется двумя подходами. Первый подход – экспериментальный. На основе полученных опытным путем данных устанавливаются эмпирические зависимости параметров процесса [5, 6, 8, 18,21, 22]. Второй подход – теоретический, базирующийся на построении физико-математической модели.

Процесс решения любой практической задачи начинается с формализации - математического моделирования.

Математическое моделирование систем и процессов является мощным инструментом, позволяющим решать задачи оптимизации в выборе сырья, материалов, оборудования; проводить многофункциональный анализ, обрабатывать технологические режимы, оптимальную стратегию ведения технологических процессов [12, 23].

Разработан ряд физико-математических моделей, описывающих тепломассообмен в процессе прессования древесных композиционных материалов, в том числе и фанеры [2, 17, 23]. На их основе изучено влияние технологических факторов на термодиффузионные процессы в условиях склеивания и горячего прессования.

Проведена оптимизация времени склеивания и охлаждения в процессе прессования, определено напряженно-деформированное состояние материала при склеивании древесины в обычных и вакуумных прессах [7, 10, 15, 16]. Разработана математическая модель для определения влагосодержания и температуры в склеиваемом пакете шпона повышенной влажности [10, 17, 19]. Для изучения кинетики склеивания рассмотрены нестационарные тепломассообменные процессы. Граница проникновения клея внутрь шпона увеличивается с неизвестной ранее скоростью. Это приводит к решению краевой задачи Стефана [13, 14, 23]. Проблема взаимодействия тел при склеивании решается с помощью модели механической адгезии [23] с использованием эффекта «гвоздевания» - механического взаимодействия двух тел при комбинации вязких и упругих характеристик.

Однако все перечисленные физико-математические модели описывают процессы, протекающие в древесине и совсем не касаются поведения связующего при плоском прессовании. В работах [1, 20], представляющих теоретический интерес, решаются подобного рода задачи, но их реализация пригодна только для пластин эллиптической формы.

Целью предлагаемого исследования является:

- разработка математической модели, которая давала бы возможность описать поведение клеевой массы в процессе склеивания в условиях

напряженно-деформированного состояния при плоском прессовании шпона;

- определение численных значений параметров процесса, обеспечивающих контакт смежных листов шпона без разрушения клеевого соединения;

- создание условий для управления давлением и скоростью прессования. Моделирование процесса прессования фанеры проведем на примере одного слоя, выбранного произвольным образом из пакета склеиваемого шпона. Рассмотрим задачу о двумерном течении вязкой жидкости между двумя сближающимися плоскостями в следующей постановке.

Пусть две параллельные плоскости расположены одна над другой на малом расстоянии $2h$ друг от друга. Пространство между ними заполнено ньютоновской несжимаемой жидкостью вязкостью η . Плоскости сближаются между собой с постоянной скоростью u_0 , вытесняя жидкость наружу через торцы на границах плоскостей (рис. 1).

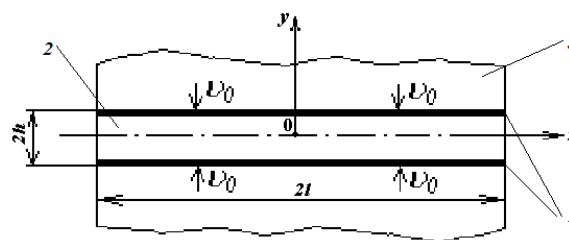


Рисунок 1. Геометрическая схема задачи о поведении вязкой жидкости между сближающимися поверхностями

- 1 – лист лущеного шпона;
- 2 – исследуемая жидкость размером $2h \times 2l$;
- 3 – плиты пресса, смыкающиеся со скоростью u_0 .

Необходимо определить напряженно-деформированное состояние связующего в условиях прессования, поле скоростей частиц жидкости, а также усилие прессования для обеспечения заданной скорости смыкания плит.

Предположим, что плоскость движения определяется координатами x, y (рис. 1) и все параметры деформирования не зависят от z .

Тогда уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости будет иметь вид [9]:

$$\frac{dv_x}{dx} + \frac{dv_y}{dy} = 0 \quad (1),$$

где v_x и v_y – компоненты скорости в направлении осей x и y соответственно. Учитывая эту зависимость, при отсутствии объемных сил и инерционных эффектов уравнения Навье-Стокса запишутся в виде:

$$-\frac{1}{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} = 0 \quad (2)$$

$$-\frac{1}{\eta} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} = 0 \quad (3),$$

А комбинация выражений (1) - (3) приводит к известному уравнению Лапласа для давления:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = 0 \quad (4)$$

Соотношения (1) – (4) должны удовлетворять граничным условиям:

$$v_x = 0, \quad -l \leq x \leq l, \quad \text{когда} \quad y = \pm h \quad (5)$$

$$v_y = mv_0, \quad -l \leq x \leq l, \quad \text{когда} \quad y = \pm h \quad (6)$$

Благодаря симметрии поставленной задачи v_x должна быть нечетной функцией от x : $v_x(-x) = -v_x(x)$.

Для решения уравнения (4) применим метод [4, 11], заключающийся в построении элементарного решения с помощью полиномов. Этому уравнению удовлетворяет полином второй степени

$$p = \frac{1}{2}Ky^2 - \frac{1}{2}Kx^2 + C \quad (7),$$

в котором K и C – константы. В выражение (7) не могут входить члены в первой степени, так как давление p не зависит от знаков x или y . А в силу нечетности функции v_x относительно x , она не может содержать члены с x^2 .

Поэтому решение уравнения (2) необходимо искать для случая $\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} = 0$. Тогда с учетом этого и выражения (7), получим (2) в виде:

$$\frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} = -\frac{Kx}{\eta} \quad (8),$$

решением которого будет выражение:

$$v_x = -\frac{1}{2} \frac{Kxy^2}{\eta} + yf(x) + \varphi(x) \quad (9),$$

где $f(x)$ и $\varphi(x)$ – неизвестные функции от x . Граничные условия (5) требуют, чтобы $f(x) = 0$, а

$$\phi(x) = \frac{Kxh^2}{2\eta}$$

В этом случае уравнение (9) примет вид:

$$v_x = \frac{Kx(h^2 - y^2)}{2\eta} \quad (10)$$

Подставляя его в уравнение неразрывности (1), получим:

$$\frac{\partial v_y}{\partial y} = -\frac{K(h^2 - y^2)}{2\eta} \quad (11)$$

Интегрируя последнее, найдем

$$v_y = -\frac{Ky^2(3h^2 - y^2)}{6\eta} + \Psi(x) \quad (12),$$

где $\Psi(x)$ – неизвестная функция от x . Согласно граничным условиям (6), $\Psi(x) = 0$ а

$$K = \frac{3\eta v_0}{h^2} \quad (13)$$

Окончательно, с учетом (13), получим выражения для составляющих скорости течения вязкой жидкости в направлениях осей x и y :

$$v_x = -\frac{3v_0x(h^2 - y^2)}{2h^3} \quad (14)$$

$$v_y = \frac{v_0y(y^2 - 3h^2)}{2h^3} \quad (15)$$

Учитывая (13) – (15) распределение давления (7) примет вид:

$$p = \frac{3\eta v_0(y^2 - x^2)}{2h^3} + C \quad (16)$$

Постоянную C можно найти из условий на границах: при $x = \pm l$ и $y = \pm h$, на которых в практических случаях жидкость выдавливается из под пластин при атмосферном давлении $p=p_0$. Получим выражение

$$p = \frac{3\eta v_0(y^2 - h^2 - x^2 + l^2)}{3h^3} + p_0 \quad (17),$$

справедливое на всей длине линий $x = \pm l$ и являющееся, таким образом, точным решением уравнения (4).

Видно, что давление в слое между пластинами распределяется по параболическому закону.

Подставляя в известные соотношения для несжимаемой, ньютоновской жидкости [9]:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 2\eta v_x - p \\ \sigma_y &= 2\eta v_y - p \\ \tau_{xy} &= \eta \frac{\partial v_x}{\partial y} \end{aligned} \quad (18)$$

Значения (14), (15) и (17), получим для компонент напряжений, возникающих при плоской деформации в исследуемой жидкости в координатах x, y выражения:

$$\sigma_x = 3\eta \frac{v_0 [3(h^2 - y^2) + x^2 - l^2]}{2h^3} \quad (19)$$

$$\sigma_y = \frac{3}{2} \frac{\eta v_0}{h^3} [y^2 - h^2 + x^2 - l^2] \quad (20)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{3\eta v_0 xy}{h^3} \quad (21)$$

Усилие F , приложенное к обоим плоскостям определим, как:

$$F = -2h \int_0^l \sigma_y dx = \frac{2\eta v_0 l^3}{h^2} \quad (22)$$

Последнее выражение можно использовать в вискозиметрии для практического определения коэффициента вязкости η клея при известных значениях F и v_0 .

Следует заметить, что выражение (11) позволяет, по крайней мере, качественно, построить графический план скоростей, представленный линиями тока, имеющими квадратичную зависимость (рис. 2). Касательные, проведенные в каждой точке линий тока, совпадают с направлением скорости частиц связующего.

Если предположить, что процесс склеивания происходит при постоянной нагрузке, то можно определить время прессования. Допустим, что нижняя плита неподвижна, а перемещение верхней происходит суммарным действием силы тяжести плиты и дополнительного груза с усилием G .

К данной системе можно применить второй закон Ньютона, уравнение которого с учетом (22) и зависимости

$$v_0 = -\frac{dh}{dt},$$

примет вид

$$\frac{G}{g} \frac{dv}{dt} = G + \frac{2\eta l^3}{h^2} \frac{dh}{dt},$$

после интегрирования которого, получим выражение

$$\frac{G}{g} v_0 = Gt - \frac{2\eta l^3}{h} + C,$$

в котором постоянную интегрирования C можно определить из начальных условий:

при $t = 0, v_0 = 0, h = h_0$. Тогда скорость перемещения нагруженной пластины (плиты) определится по формуле:

$$v_0 = gt - \frac{2\eta l^3}{G} \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{h_0} \right) \quad (23)$$

Для малой скорости прессования из (23) можно получить зависимость времени сжатия слоя от его переменной толщины h

$$t = \frac{2\eta l^3}{Gg} \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{h_0} \right) \quad (24)$$

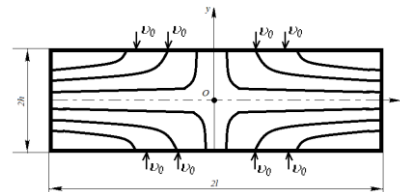


Рисунок 2 Схема изображения плана скоростей (линий тока) частиц клеевой массы в плоскости скольжения

Результаты представленной работы позволяют сделать следующие выводы:

1. Представлен критический анализ существующих физико-математических моделей, описывающих различные процессы, протекающие при плоском прессовании древесно-слоистых материалов.

2. В рамках плоского деформированного состояния предложена математическая модель, описывающая поведение ньютоновской несжимаемой жидкости, находящейся в пространстве между сближающимися навстречу друг другу параллельными плоскостями, позволившая получить ряд важных параметров и аналитических зависимостей: аналитические выражения для компонент напряженно-деформированного состояния при двумерном течении клеевой массы; выражения, позволяющие определить поле скоростей исследуемой жидкости в плоскости скольжения, а также время прессования; формула, определяющая взаимосвязь усилий, действующих на плоскости, и скорости

смыкания плит пресса, позволяющая экспериментально измерить коэффициент вязкости клеявого соединения в процессе прессования.

3. Предлагаемая модель может быть использована для описания физических процессов в усло-

виях плоского прессования композиционных материалов, бумажно-слоистых пластиков, текстолита и др.

Библиографический список

1. Аристов, С.Н. Течение вязкой жидкости между подвижными параллельными плоскостями [Текст] / С.Н. Аристов, Д.В. Князев // Известия Российской Академии наук. Механика жидкости и газа. – 2012. – № 4. – С. 55-61.
2. Артемова, В.П. О расчете температурных полей в процессе прессования слоистой древесины [Текст] / В.П. Артемова, Л.Н. Ганжа, Г.Н. Журавский // Механическая технология древесины: сборник научных статей. – Минск, 1978. – № 8. – С. 47-50.
3. Бартнев, И. М. Экологизация технологии и лесной техники [Текст] / И.М. Бартнев, В.Н. Винокуров // Лесное хозяйство. – 2005. – № 5. – С. 5-7.
4. Бицадзе, А.В. Уравнения математической физики [Текст] / Бицадзе А.В. – М.: Наука, 1982. – 336 с.
5. Bohlen, J.C. Tensile Strength of Douglas-Fir Laminated-Veneer-Lamer//Forest Products Journal.-1974.- № 24 (1). – P. 54-58
6. Буглай, Б. М. Технология изделий из древесины [Текст] / Б.М. Буглай, Н.М. Гончаров. – Москва, 1985. – 395 с.
7. Buikis, A. The mathematical model [Текст] / A. Buikis, J. Cepins, S. Kostjukova // The mathematical model: 13th WSEAS International Conference of Applied Mathematics. – Spain, 2008. – С. 125-129.
8. Goto, T. Studies on Wood Gluing [Текст] /T. Goto, H. Saiki, H. Onishi//Wood Science and Technology.-1982. - № 16 (4). – P. 21-31
9. Егер, Дж.К. Упругость, прочность и текучесть [Текст] / Дж. К. Егер – Москва, 1961. – 172 с.
10. Израелит, А.Б. Теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния фанеры после склеивания влажного шпона в вакуумных прессах [Текст] / А.Б. Израелит, С.В. Денисов // Технологии и оборудование деревообрабатывающих производств. – 1982. – № 11. – С. 37-41.
11. Карачик, В.В. Построение полиномиальных решений дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами [Текст] / В.В. Карачик // Дифференциальные уравнения. – 1991. – Т. 27 – № 3. – С. 534-535.
12. Кумицкий, Б.М. Математическое моделирование движения лесовозного автопоезда на повороте [Текст] / Б.М. Кумицкий, Д.С. Любавский, Д.Н. Афоничев // Моделирование систем и процессов. – 2009. – № 1-2. – С. 50-55.
13. Кумицкий, Б.М. Применение «условия Стефана» для решения тепловых задач в объектах лесного комплекса [Текст] / Б.М. Кумицкий, С.В. Малюков, Н.А. Саврасова, С.В. Чуйкин // Лесотехнический журнал. – 2017. – № 3. – С. 41-48.
14. Матвеев, Н.Н. Аномалии тепловых свойств целлюлозы при переходах кристалл-кристалл [Текст] / Н.Н. Матвеев, Н.С. Камалова, Н.Ю. Евсикова // Пластические массы. – 2015. – № 3-4. – С. 30-32.
15. Михайлов, А.Н. Роль давления при склеивании древесины [Текст] / А.Н. Михайлов. – Ленинград, 1966. – 39 с.
16. Плотников, Н. П. Оптимизация режимов склеивания фанеры модифицированными клеевыми композициями [Текст] / Н.П. Плотников, С.В. Денисов // Вестник Красноярского ГАУ. – 2010. – № 5. – С. 143-148.
17. Плотников, Н. П. Математическая модель тепломассопереноса в процессе склеивания шпона повышенной влажности [Текст] / Н.П. Плотников, // Системы. Методы. Технологии. – 2016. – № 3 (31). – С. 161-167.

18. Плотников, Н. П. Совершенствование технологии производства древесноплитных материалов [Текст] / Н.П. Плотников. – Новосибирск, 2013. – 112 с.
19. Старцев, О.В. Моделирование влагопереноса в слоистых пластиках и металлопластиках [Текст] / О.В. Старцев, А.А. Кузнецов, А.С. Кротов, Л.И. Аниховская, О.Г. Сенаторова // Физическая мезомеханика. – 2002. – Т. 5. – № 2. – С. 109-114.
20. Ханефт, А. В. Основы механики сплошных сред в примерах и задачах [Текст] : учеб. Пособие / А.В. Ханефт. – Кемерово, 2010. – 242 с.
21. Чубинский, А. Н. Экспериментальное обоснование реологической модели пакета шпона при склеивании [Текст] / А. Н. Чубинский // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств. – 1987. – № 2. – С. 34-37.
22. Чубинский, А. Н. Микроскопические исследования фанеры в области клеевого слоя [Текст] / А. Н. Чубинский, Г.Р. Блыскова // Лесной журнал. – 1987. – № 1. – С. 122-124.
23. Чубинский, А. Н. Моделирование процессов склеивания древесных материалов [Текст] / А. Н. Чубинский, В.В. Сергеевичев. – Санкт-Петербург – 2007. – 176 с.

References

1. Aristov S.N., Knyazev D.V. *Techenie vyazkoy zidkosti mezdu podviznymi parallel'nymi ploskostyami* [Viscous fluid flow between movable parallel planes]. *Izvestia Rossiyskoy Akademii Nauk. Mekhanika zidkosti i gasa* [News of the Academy of Sciences. Mechanics of Fluid and Gas], 2012, no. 4, pp. 55-61
2. Artemova V.P., Ganza L.N., eds. *O raschete temperaturnykh poley v processe pressovaniya sloistoy drevesiny* [On the calculation of temperature fields in the process of pressing laminated wood]. *Trudy "Mechanicheskaya tekhnologiya drevesiny"* [Proc. "Mechanical technology of wood"] Minsk, 1978, no. 8, pp. 47-50
3. Bartenev I.M., Vinokurov W.N. *Ekologizatsiya tekhnologii i lesnoj tekhniki* [Ecologization of technology and forest machinery]. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 2005, no. 5, pp. 5-7
4. Bicaşde A.W. *Urvneniya matematicheskoy fiziki* [Equations of mathematical physics]. Moscow, Nauka, 1982. 336 p.
5. Bohlen, J.C. Tensile Strength of Douglas-Fir Laminated-Veneer-Lamer. *Forest Products Journal*, 1974, no. 24 (1), pp. 54-58
6. Buglay B.M., Goncharov N.M. *Technologiya izdeliy iz drevesiny* [Technology of wood products]. Moscow, 1985. 395 p.
7. Buikis A., Cepins J., Kostjukova S. The mathematical model . The mathematical model: 13th WSEAS International Conference of Applied Mathematics, Spain, 2008, pp. 125-129.
8. Goto T., Saiki H., Onishi H. Studies on Wood Gluing . *Wood Science and Technology*, 1982, no. 16 (4), pp. 21-31
9. Eger J.K. *Uprugost, prochnost, plastichnost* [Elasticity, strength and fluidity]. Moscow, 1961. 172 p.
10. Israelite, A.B., Denisov, S.V. *Teoreticheskoye issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya fanery posle skleivaniya vlazhnogo shpona v vakuurnykh pressakh* [Theoretical study of the stressed-deformed state of plywood after gluing of wet veneer in vacuum presses]. *Tekhnologii i oborudovaniye derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv*. [Technology et apparatus et industries woodworking], 1982, no. 11, pp. 37-41.
11. Karachik V.V. *Postroyeniye polinomial'nykh resheniy differentsial'nykh uravneniy s postoyannymi koeffitsiyentami* [Construction of polynomial solutions of differential equations with constant coefficients]. *Differential equations*, 1991, no. 3, pp. 534-535.
12. Kumitsky B.M., Lubawski D.S., Afonichev D.N. *Matematicheskoye modelirovaniye dvizheniya lesovoznogo avtopoyezda na povorote* [Mathematical modeling of the movement of a forest trailer on a turn]. *Modelirovaniye sistem i protsessov* [Modeling of systems and processes]. Voronezh, 2009, no. 1-2, pp. 50-55.

13. Kumitsky B.M., Malyukov S.V., SAVrasova N.A., Chuikin S.V. *Primeneniye «usloviya Stefana» dlya resheniya teplovykh zadach v ob'yektakh lesnogo kompleksa* [Application of the "Stefan conditions" for solving thermal problems in the objects of the forest complex]. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2017, no. 3, pp. 41-48.
14. Matveyev N.N., Kamalova N.S., Evsikova N.Y. *Anomalii teplovykh svoystv tsellyulozy pri perekhodakh kristall-kristall* [Anomalies in the thermal properties of cellulose in crystal-crystal transitions]. *Plasticheskiye massy* [Plastic masses], 2015, no. 3-4, pp. 30-32.
15. Mikhailov A.N. *Rol' davleniya pri skleivani drevesiny* [The role of pressure in gluing wood]. Leningrad, 1966, 39 p.
16. Плотников, Н. П. Оптимизация режимов склеивания фанеры модифицированными клеевыми композициями [Текст] / Н.П. Плотников, С.В. Денисов // Вестник Красноярского ГАУ. – 2010. – № 5. – С. 143-148.
17. Plotnikov N.P. *Matematicheskaya model' teplomassoperenosa v protsesse skleivaniya shpona povyshennoy vlazhnosti* [Mathematical model of heat and mass transfer in the process of bonding high moisture veneer]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2016, no. 3 (31), pp. 161-167.
18. Plotnikov N.P. *Sovershenstvovaniye tekhnologii proizvodstva drevesno plitnykh materialov* [Improvement of the technology of wood board materials production]. Novosibirsk, 2013, 112 p.
19. Startsev O.V., Kuznetsov A.A., eds. *Modelirovaniye vlagoperenosa v sloistykh plastikakh i metalloplastikakh* [Modeling of moisture transfer in laminated plastics and metalloplastics]. *Fizicheskaya mezomekhanika* [Physical mesomechanics], 2002, V. 5, no. 2, pp.109-114.
20. Hanewft A.V. *Osnovy mekhaniki sploshnykh sred v primerakh i zadachakh* [Fundamentals of continuum mechanics in examples and problems]. Kemerovo, 2010, 242 p.
21. Chubinsky A.N. *Eksperimental'noye obosnovaniye reologicheskoy modeli paketa shpona pri skleivani* [Experimental justification of the rheological model of the veneer package for gluing]. *Tekhnologiya i oborudovaniye derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv* [Technology and equipment for woodworking industries], 1987, no. 2, pp. 34-37.
22. Chubinsky A.N, Blyskova G.R. *Mikroskopicheskiye issledovaniya fanery v oblasti kleyevogo sloya* [Microscopic examination of plywood in the region of the adhesive layer]. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 1987, no. 1, pp. 122-124.
23. Chubinsky A.N, Sergeevichev V.V. *Modelirovaniye protsessov skleivaniya drevesnykh materialov* [Modeling the processes of gluing wood-based materials]. St. Petersburg, 2007, 176 p.

Сведения об авторах

Кумицкий Борис Михайлович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д.84, т.: +7(473) 2712827, e-mail: boris-kum@mail.ru

Саврасова Наталья Александровна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики и химии ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 394064 г. Воронеж, ул. Старых большевиков, д.54 а, т.: +7951-872-94-25, e-mail: savrasova-nataly@mail.ru

Кантиева Екатерина Валентиновна – кандидат технических наук, доцент кафедры механическая технология деревообработки ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет», 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, т.: +7(473)2 357356, e-mail: ekantieva@mail.ru

Information about authors

Kumitsky Boris Mikhailovich - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, assistant professor of Oil and gas supply dept., **FSBEI** HE «The Voronezh state technical university», Voronezh, Russian Federation; e-mail: boris-kum@mail.ru

Savrasova Natalia Alexandrovna - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, assistant professor of Physics and chemistry dept., MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy»; e-mail: savrasovana-taly@mail.ru

Kantieva Ekaterina Valentinovna - Candidate of Technical Sciences, assistant professor of Mechanical Wood-working dept., FSBEI HE «The Voronezh state university of forestry and technologies named after G. F. Morozov»; e-mail: ekantieva@mail.ru

DOI: 10.12737/article_5b24061a94a5f2.93144911

УДК 674*038.1

ВЛИЯНИЕ ВАРИАТИВНОСТИ СОСУДОВ НА КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ И ОСИНЫ В СТВОЛЕ ДЕРЕВА

доктор технических наук, доцент **А. Д. Платонов**¹
старший преподаватель, **М. А. Михеевская**²
кандидат биологических наук, доцент **С. Н. Снегирева**¹
кандидат технических наук, доцент **Т. К. Курьянова**¹
кандидат биологических наук, доцент **А. В. Киселева**¹
директор УОЛ, **А.Н. Топчев**³

1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Российская Федерация

2 – ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», Ухта, Российская Федерация

3 – УОЛ «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Российская Федерация

Элементом верхнего строения железнодорожного пути являются шпалы, которые изготавливают в основном из древесины хвойных пород. Основным недостатком этих шпал является малый срок службы, качество пропитки и истощенная сырьевая база. Для увеличения срока эксплуатации деревянных шпал, повышения их биостойкости и формоустойчивости необходимо сырье для производства шпал подвергнуть пропитке составом антисептика и стабилизатора, т.е. провести термомеханическую модификацию древесины. Исходя из объемного запаса древесных пород целесообразно для производства модифицированной древесины использовать древесину березы и осины, как одних из самых распространенных рассеяннососудистых мягких лиственных древесных пород на территории РФ. Качество модифицированной древесины во многом зависит от количества введенного антисептика со стабилизатором и степени уплотнения древесины. Реализация технологии производства модифицированной древесины возможна на основе сведений о характере изменения количества и параметров основных проводящих анатомических элементов древесины рассеяннососудистых мягких лиственных пород - сосудов. Изменения в анатомическом строении древесины лежат в основе колебания показателей качества древесины – плотности и прочности. В результате выполненного исследования установлено изменение количества сосудов и диаметра их полостей в древесине березы и осины по высоте ствола. Это позволит определить расход пропитывающего вещества и разработать рациональные режимы прессования древесины (степени прессования) в зависимости от места положения сортимента в стволе дерева с целью получения однородного по качеству материала для производства шпал из модифицированной древесины.

Ключевые слова: древесина осины и березы, сосуд, анатомическая структура, плотность, пористость, влажность, ствол, шпала