

УДК 544.08:620.1

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВЛАГОПЕРЕНОСА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ НА СТАДИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СУШКИ

¹Старцев О.В., ¹Фролов А.С., ¹Махоньков А.Ю., ²Ерофеев В.Т.,
²Гудожников С.С., ³Кротов А.С.

¹ФГУП «Всероссийский институт авиационных материалов» ГНЦ РФ,
Москва, e-mail: startsevov@gmail.com;

²ГОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»,
Саранск, e-mail: yerofeevvt@mail.ru;

³ГОУ ВПО «Алтайский государственный университет», Барнаул, e-mail: askrotov@list.ru

На стадии предварительной сушки определены параметры влагопереноса древесины следующих сортов: береза, дуб, клен, липа, осина, сосна, ясень. Кроме исходной древесины, в эксперименте использовались полимерные композиты (древесина с нанесенным защитным покрытием). Для модификации древесины использовались полимерные композиции на основе эпоксидной и полиэфирной смол, отвержденных полиэтиленполиамином, продуктами АФ-2, Бутанокс в сочетании с растворителями, ускорителями отверждения и биоцидным препаратом «Тефлекс Антиплесень». Результаты эксперимента показывают, что предельное влагосодержание уменьшается в присутствии покрытия. Наилучшим защитным покрытием из всех использованных вариантов является смола ЭД-20 с отвердителем АФ-2. Для всех пород деревьев, кроме березы и дуба, полимерные модификаторы увеличивают коэффициент диффузии в среднем в 1,5–2 раза. У древесины дуба коэффициент диффузии увеличивается до 1,5 раз. У березы коэффициент диффузии уменьшается до 50% от исходного состояния.

Ключевые слова: древесина, параметры влагопереноса, полимерный модификатор, диффузия влаги

ESTIMATION OF MOISTURE TRANSFER PARAMETERS OF WOOD POLYMER COMPOSITES ON PRE-DRYING STAGE

¹Startsev O.V., ¹Frolov A.S., ¹Makhonkov A.J., ²Erofeev V.T.,
²Gudozhnikov S.S., ³Krotov A.S.

¹All-Russia scientific research institute of aviation materials «VIAM» FSUE, RF SRC,
Moscow, e-mail: startsevov@gmail.com;

²Mordovia State University n.a. N.P. Ogareva, Saransk, e-mail: yerofeevvt@mail.ru;

³Altai State University, Barnaul, e-mail: askrotov@list.ru

Moisture transfer parameters were determined for birch, elm-tree, oak, maple, tilia, common pine and ash-tree wood on pre-drying stage. Wood polymer composites (wood coated by protective covering) and original uncoated wood were used in the experiment. Polymeric modifiers were prepared using epoxy and polyether resins cured by polyethylenepolyamine, AF-2 (aliphatic amine) and Butanox M-50 (Methyl ethyl ketone peroxide) curatives combined with solvents, curing accelerators, and biocide «Teflex Antiplesen». Results of experiment show that limit moisture content reduced of wood polymeric composites. Best of polymeric modifiers is epoxy resin ED-20 with AF-2 (aliphatic amine) of all version modifiers. Polymeric modifiers is increases the diffusion coefficient of moisture in 1,5–2 times for all species of wood, except birch and oak. The diffusion coefficient of moisture is increases to 1,5 times of oak. The diffusion coefficient of moisture is reduced to 50% the initial state of birch.

Keywords: wood, the moisture transfer parameters, polymeric modifier, diffusion of water

Древесина является одним из самых востребованных материалов, используемых при строительстве домов, внутренней отделке помещений, при изготовлении мебели, а также при производстве товаров народного потребления. Одна из специфических особенностей древесины как строительного и отделочного материала – это ее крайне выраженная подверженность к воздействию влаги [1]: набухание при увлажнении, и усыхание при сушке. Также одним из факторов, влияющих на долговечность и декоративность покрытия из натурального дерева, является разрушающее действие микроорганизмов и насекомых вредителей. Для предохранения древесины от влажно-

сти и биологического воздействия широко используются методы ее поверхностной обработки полимерными составами. Относящиеся к их числу краски, лаки, праймеры добавляют, лаки, праймеры придают изделиям из древесины хороший декоративный вид и обеспечивают повышенную защиту изделия от факторов окружающей среды.

Одним из важнейших свойств покрытия являются его влагозащитные свойства. В качестве критериев влагозащитных свойств покрытия обычно используются такие показатели, как коэффициент диффузии влаги и предельное влагосодержание [2, 3].

Целью данной работы является оценка параметров влагопереноса полимерных

композитов на основе древесины различных сортов. Были поставлены следующие задачи: рассчитать параметры влагопереноса для образцов древесины без полимерного покрытия; рассчитать параметры влагопереноса для образцов полимерных композитов с различным сочетанием древесины/покрытия; оценить влияние используемого покрытия на параметры влагопереноса.

Модель диффузии влаги

Характеристики влагопереноса в древесине удовлетворительно определяются с использованием второго закона Фика в одномерном приближении с постоянными граничными условиями [4, 5]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}; \quad 0 < x < l, x > 0;$$

$$M(t) = \begin{cases} C_0 + 2(2M_0 - C_0) \sqrt{\frac{dt}{\pi}}, & t < \tau, \\ M_0 + 8(C_0 - M_0) \sum_{k=0}^{\infty} \frac{e^{-n_k^2 dt}}{n_k^2}, & t \geq \tau, \end{cases} \quad (2)$$

где $n_k = \pi(2k+1)$; M_0 – предельная убыль массы; C_0 – начальная убыль массы; $dt = Dt/l^2$ – влажностной аналог числа Фурье; D – коэффициент диффузии, мм²/сут.; t – время увлажнения или сушки, сут.; τ – время смены вида формулы, составляет около 1 сут.; l – длина диффузионного пути, см.

Длина диффузионного пути для образца с номером i вычисляется по формуле:

$$\frac{1}{l_i^2} = \frac{1}{L_i^2} + \frac{1}{W_i^2} + \frac{1}{h_i^2}, \quad (3)$$

где L – длина вдоль основного направления армирования образца, мм; W – ширина образца, мм; h – толщина образца, мм.

Экспериментальная часть

В проведенном исследовании определены параметры влагопереноса древесины следующих сортов: береза, дуб, клен, липа, осина, сосна, ясень. Кроме исходной древесины, в эксперименте использовались полимерные композиты (древесина с нанесенным защитным покрытием). В качестве покрытий были использованы композиции из полиэфирной смолы ПН-609-21М, эпоксидной смолы ЭД-20, ускорителя УНК-2, биоцидной присадки «Гефлекс-Антиплесень», растворителя Бутанол и отвердителей АФ-2, ПЭПА, Бутанокс (табл. 1).

Из пластин исходной и модифицированной полимерами древесины вырезались образцы одинаковой формы в виде квадратных пластин со стороной 50 мм и толщи-

$$c(x, t)|_{t=0} = c_0; \quad c(x, t)|_{x=l} = m_0;$$

$$M(x) = \int_0^l c(x, t) dx, \quad (1)$$

где c – концентрация влаги в единице объема образца; t – время; c_0 – начальное значение концентрации влаги при $t \rightarrow 0$; m_0 – значение концентрации влаги на границах образца; x – координата, вдоль которой диффундирует влага; l – характерная толщина образца; D – коэффициент диффузии; $M(t)$ – влагосодержание модельного отрезка длиной L , шириной W и толщиной h в момент времени t .

По результатам измерений массы образцов на стадии предварительной сушки предельная убыль массы и коэффициент диффузии вычислены по соотношениям

ной 1,5–2 мм. Перед началом сушки было выполнено измерение массы образцов. Затем образцы были помещены в термощкаф с постоянной температурой $60 \pm 2^\circ\text{C}$, где и происходило их высушивание до стабилизации массы. В процессе высушивания периодически измерялись масса и толщина образцов.

Результаты эксперимента

На рис. 1, 2 в качестве примеров представлена кинетика десорбции влаги в композитах на основе березы и сосны с разнообразными полимерными модификаторами. Из полученных результатов видно, что предельная убыль массы достигает значений 4–7% в зависимости от использованного покрытия. Для этих систем по формулам (2), (3) рассчитаны значения коэффициента диффузии и предельного влагосодержания (таблица).

Результаты эксперимента показывают:

1. Коэффициент диффузии березы в 2–4 раза больше, чем у других пород деревьев.

2. Для всех пород деревьев, кроме березы и дуба, полимерные модификаторы увеличивают коэффициент диффузии в среднем в 1,5–2 раза. У древесины дуба коэффициент диффузии увеличивается до 1,5 раз. У березы коэффициент диффузии уменьшается до 50% от исходного состояния.

3. Для всех пород древесины предельное влагосодержание уменьшается в присутствии покрытия до 50–70% от исход-

ного. У сосны уменьшение предельного влагосодержания достигает 44%.

4. Наилучшая защита по предельному влагосодержанию для всех пород деревьев – смола ЭД-20 с отвердителем АФ-2. Для этого же покрытия меньше всего меняется коэффициент диффузии.

5. Дополнительная проверка показателей влагопереноса для образцов древесины дуба с использованием компонентов ЭД-20 + АФ-2 + Бутанол и ПН-609-21М + УНК-2+Бутанокс не привели к заметному изменению M_0 и D .

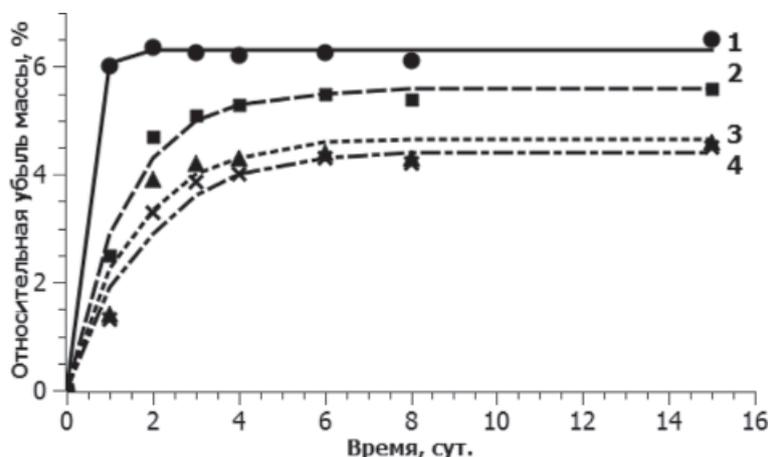


Рис. 1. Кинетика десорбции влаги в композитах на основе березы с различными полимерными модификаторами:

1 – древесина без обработки; 2 – ЭД-20+ПЭПА+Теплекс Антиплесень; 3 – ЭД-20+АФ-2; 4 – ЭД-20+ПЭПА. Точки – экспериментальные значения, линии – аппроксимация по модели (1)

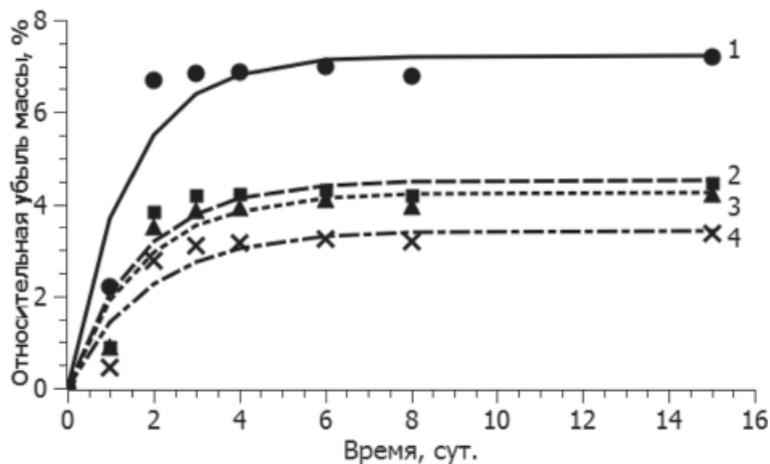


Рис. 2. Кинетика десорбции влаги в композитах на основе сосны с различными полимерными модификаторами:

1 – древесина без обработки; 2 – ЭД-20+ПЭПА; 3 – ЭД-20+ПЭПА+Теплекс Антиплесень; 4 – ЭД-20+АФ-2. Точки – экспериментальные значения, линии – аппроксимация по модели (1)

Заключение

В работе определены характеристики влагопереноса полимерных композитов на основе древесины с разными покрытиями на стадии предварительной сушки. Результаты эксперимента показывают, что предельное влагосодержание уменьшается в присутствии покрытия. Наилучшим защитным покрытием из всех использованных вариантов является смола ЭД-20 с отвердителем АФ-2.

Установлено, что для всех пород деревьев, кроме березы и дуба, покрытия увеличивают коэффициент диффузии в 1,5-2 раза, что не является существенным эффектом.

На последующем этапе исследований после проведенной стадии предварительной сушки будет выполнен полный цикл «увлажнение-сушка», благодаря которому будут уточнены полученные показатели влагопереноса с учетом пластификации и структурной релаксации древесины.

Окончательные выводы о влиянии модифицирующих полимерных добавок на влагоперенос в древесине будут сделаны после

аналогичных экспериментов с образцами, экспонированными в открытых климатических условиях в течение года.

Значения коэффициента диффузии и предельного влагосодержания, рассчитанные по формулам (2), (3)

Значение	Древесина	Без обработки	ЭД-20 + АФ-2	ЭД-20+ ПЭПА	ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс	ЭД-20 + АФ2 + Бутанол	ПН-609-21М + УНК-2 + Бутанокс
Коэффициент диффузии D , мм ² /сут	Береза	9,3	4,2	4,4	5,2		
	Дуб	2,3	2,8	3,1	2,9	2,3	2,2
	Клен	2,0	3,4	3,1	3,9		
	Липа	1,9	3,5	4,4	3,2		
	Осина	1,8	3,4	4,0	4,5		
	Сосна	1,9	3,4	3,8	4,1		
	Ясень	1,8	3,1	3,1	3,4		
Предельное влагосодержание M_0 , %	Береза	6,3	4,6	4,4	5,6		
	Дуб	7,0	4,5	4,5	5,5	6,1	6,1
	Клен	6,2	4,3	4,4	5,5		
	Липа	6,3	3,7	3,7	4,7		
	Осина	5,1	3,6	3,6	4,3		
	Сосна	7,2	3,4	4,5	4,3		
	Ясень	6,7	4,4	5,0	5,5		

Работа выполнена в рамках гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 13-08-12097 «Исследование механизмов климатического старения и биодеструкции полимерных композитов на основе древесины методами динамической механической спектроскопии».

Список литературы

1. Махонков А.Ю., Старцев О.В., Курс И.С., Ерофеев В.Т. Влияние влажности на молекулярную подвижность и релаксационные процессы древесины // Актуальные вопросы архитектуры и строительства: материалы двенадцатой международной научно-технической конференции. – Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2013. – С. 224–228.
2. Мелехина М.И., Кавун Н.С., Ракитина В.П. Эпоксидные стеклопластики с улучшенной влаго- и водостойкостью // Авиационные материалы и технологии. – 2013. – № 2. – С. 29–31.
3. Николаев Е.В., Кириллов В.Н., Скирта А.А., Гращенко Д.В. Исследование закономерностей влагопереноса и разработка стандарта по определению коэффициента диффузии и предельного влагосодержания для оценки механических свойств углепластиков // Авиационные материалы и технологии. – 2013. – № 3. – С. 44–48.
4. Старцев О.В., Кротов А.С., Сенаторова О.Г., Аниховская Л.И., Антипов В.В., Гращенко Д.В. Сорбция и диффузия влаги в слоистых металлополимерных композиционных материалах типа «СИАЛ» // Материаловедение. – 2011. – № 12. – С. 38–44.
5. Старцев О.В., Кузнецов А.А., Кротов А.С., Аниховская Л.И., Сенаторова О.Г. Моделирование влагопереноса в слоистых пластиках и стеклопластиках // Физическая мезомеханика. – 2002. – т. 5, № 2. – С. 109–114.

References

1. Makhonkov A.J., Starcev O.V., Kurs I.S., Erofeev V.T. Influence of moisture on the molecular mobility and relaxation processes of wood // Actual questions of architecture and construction. Materials of the twelfth international scientific and technical conference. Saransk, Publishing office «Mordovia State University n.a. N.P. Ogareva», 2013, pp. 224–228.
2. Melehina M.I., Kavun N.S., Rakitina V.P. Epoxy fiberglass with improved moisture and water resistance // Aviation materials and technologies, 2013, no. 2, pp. 29–31.
3. Nikolaev E.V., Kirillov V.N., Skirta A.A., Grashhenkov D.V. The research regularities of moisture transport and the development of standart actions to definition the diffusion coefficient and moisture content limit to evaluate the mechanical properties of carbon fiber reinforced plastics // Aviation materials and technologies, 2013, no. 3, pp. 44–48.
4. Starcev O.V., Krotov A.S., Senatorova O.G., Anihovskaja L.I., Antipov V.V., Grashhenkov D.V. Sorption and diffusion of moisture in layered metal-polymer composite materials of type «SIAL» // Materials Science, 2011, no. 12, pp. 38–44.
5. Starcev O.V., Kuznecov A.A., Krotov A.S., Anihovskaja L.I., Senatorova O.G. Modeling of moisture transfer in layered plastic and fiberglass // Physical mesomechanics, 2002, Vol. 5, no. 2, pp. 109–114.

Рецензенты:

Гагарин В.Г., д.т.н., профессор, член-корреспондент РААСН, заведующий лабораторией строительной теплофизики НИИ строительной физики РААСН, г. Москва;
Римшин В.И., д.т.н., профессор, член-корреспондент РААСН, директор Института жилищно-коммунального комплекса, ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», г. Москва.
Работа поступила в редакцию 01.04.2014.