УДК 544.08:620.1

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ВЛАГОПЕРЕНОСА ДРЕВЕСИНЫ С ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

[1]Старцев О.В., [1]Молоков М.В., [2]Ерофеев В.Т., [3]Кротов А.С., [2]Гудожников С.С.

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

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

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

Исследована эффективность защитных эпоксидных и полиэфирных покрытий на коэффициент диффузии влаги и предельное влагонасыщение семи пород древесины при экспонировании в условиях умеренно теплого морского климата Геленджика. Для исходных и подвергнутых климатическому воздействию образцов без защиты и с защитными покрытиями влагоперенос моделируется вторым законом Фика. После нанесения защитных покрытий коэффициент диффузии влаги в древесину возрастает, а предельное влагонасыщение уменьшается. Эта закономерность прослеживается и на различных этапах климатического старения древесины. Из всех вариантов полимерной защиты наилучший результат достигается для покрытия на основе эпоксидной смолы ЭД-20, отвержденной продуктом АФ-2. На основе полученных результатов проведено обобщенное моделирование влагопереноса в древесине, учитывающее толщину образцов, породу дерева, вид покрытия, продолжительность и условия экспонирования. Предложены три модели, основанные на предположении об аддитивном влиянии перечисленных факторов на показатели влагопереноса с коэффициентом детерминированности от 0,72 до 0,91.

Ключевые слова: древесина, коэффициент диффузии влаги, предельное влагонасыщение, эпоксидное покрытие, климатическое старение, моделирование

THE INFLUENCE OF NATURAL WEATHERING ON MOISTURE TRANSFER IN WOOD WITH PROTECTIVE COATINGS

[1]Startsev O.V., [1]Molokov M.V., [2]Erofeev V.T., [3]Krotov A.S., [2]Gudozhnikov S.S.

[1]All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials, Moscow, e-mail: startsevov@gmail.com;

[2]Ogarev Mordovia State University, Saransk, e-mail: yerofeevvt@mail.ru;

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

The influence of protective epoxy and polyester coatings on moisture diffusion coefficient and maximum moisture content of seven wood species exposed to Gelendzhik maritime climate was investigated. Fick's second law can be applied for modeling of moisture transfer in both exposed and unexposed samples: with and without protective coatings. After the application of protective coatings the moisture diffusion coefficient is increased and the maximum moisture content is decreased. This tendency is applicable to different lengths of natural exposure. The best protective properties are obtained by application of ED-20 epoxy resin cured by AF-2. The experimental results were used to model moisture diffusion with respect to thickness of samples, wood specie, type of coating and length of exposure. The three models based on the concept of additive influence of parameters mentioned above were proposed. The coefficients of determination from 0,72 up to 0,91 were achieved.

Keywords: wood, moisture diffusion coefficient, maximum moisture content, epoxy coating, natural weathering, modelling

Древесина относится к числу самых распространенных строительных, отделочных и конструкционных материалов [4] из-за сочетания ее механических и декоративных свойств. Основным недостатком древесины является ее высокая гидрофильность: в условиях повышенной влажности образцы древесины способны сорбировать до 20–25 % влаги [5]. Сорбированная влага является причиной ухудшения механических показателей, растрескивания, коробления строительных элементов. При модификации древесина приобретает улучшенные свойства. Потенциальные возможности древесины достаточно велики. Прочностные и многие другие характеристики значительно увеличиваются именно в композиционных материалах. Для модификации древесины используют мономеры и полимеры [1–3]. Определение показателей влагопереноса в обычной и модифицированной древесине привлекает внимание многих исследователей. Особый интерес вызывают закономерности изменения предельного влагонасыщения и коэффициента диффузии влаги древесины, подвергнутой натурному климатическому воздействию.

Ранее нами [5] были определены показатели влагопереноса для семи пород древесины в исходном состоянии на стадии предварительной сушки. Целью настоящей работы является определение закономерностей

изменения предельного влагонасыщения и коэффициента диффузии влаги древесины под воздействием факторов внешней среды при экспонировании в условиях умеренно теплого морского климата Геленджика.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны следующие породы древесины, произрастающие на территории РФ: ясень, береза бородавчатая, сосна обыкновенная, дуб черешчатый, липа, клен, осина [6]. Для защиты древесины от климатического воздействия использовали полимерные покрытия на основе эпоксидной смолы ЭД-20.

Эпоксидная смола марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), представляет собой жидкий реакционноспособный олигомерный продукт на основе диглицидилового эфира дифенилолпропана. Для отверждения использовали полиэтиленполиамин (ПЭПА) (ТУ 2413357-00203447-99) и отвердитель АФ-2 (ТУ 2494-511-00203521-94), предназначенный для холодного отверждения эпоксидных композиций, способных вступать в реакцию отверждения во влажной среде. АФ-2 представляет собой смесь олигомеров, полученных взаимодействием фенола, этилендиамина и формальдегида [1–3].

Отдельно была приготовлена композиция на основе смолы ЭД-20, отвержденной ПЭПА, в состав которой введен препарат «Тефлекс Антиплесень» (ТУ 23-86-003-23170704–99) – строительный полимерный биоцид пролонгированного действия на водной основе с pH 6,5–7,5. В его составе содержится 1–5 % биоцидаполигексаметиленгуанидина .

Обработка древесины осуществлялась путем окунания в композицию подготовленных образцов и последующего высушивания и отверждения. Высушивание образцов осуществлялось в течение одних суток в нормальных температурных условиях (температура 18–20 °C и относительная влажность 70–80 %). Окончательное отверждение модифицированных образцов производили при температуре 80 °C с длительностью прогрева 6 часов.

Для защиты древесины дуба и сосны от воздействия климатических факторов использовали также отвердитель АФ-2 в сочетании с одноатомным спиртом C_4H_9OH марки Бутанол-1 (ТУ6-09-1708-77). Дополнительно опробовали эффективность полиэфирного защитного покрытия на основе смолы ПН-609-21М, отвержденной продуктом марки Бутанокс (ГОСТ 6221-90). Этот отвердитель, представляющий собой 50 %-ный раствор перекиси метилэтилкетона в дибутилфталате, обеспечивает необходимые скорость, глубину отверждения и хорошие физико-механические свойства отвержденных полиэфиров. Для сокращения времени отверждения в полиэфирную смолу добавлялся ускоритель УНК-2 (ТУ6-05-1075-76) – низкомолекулярная жидкость от розового до темно-фиолетового цвета плотностью 0,92–0,95 г/см^3 с массовой долей кобальта 1,2–1,5 %.

Из пластин исходной и защищенной эпоксидными покрытиями древесины вырезались образцы одинаковой формы в виде квадратных пластин со стороной 50 мм и толщиной 1,5–2 мм. Перед началом сушки измерялась масса образцов. Затем образцы помещались в термошкаф с постоянной температурой 60 ± 2 °C, в котором происходило их высушивание до стабилизации массы или увлажнение в воздушной среде с относительной влажностью 98 ± 2 %. В процессе высушивания или увлажнения периодически измерялись масса и толщина образцов.

Результаты исследования и их обсуждение

В работе [2] было показано, что в стационарных термовлажностных условиях влагоперенос в древесине моделируется вторым законом Фика в одномерном приближении с постоянными граничными условиями

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D\frac{\partial^2 c}{\partial x^2},\ 0 < x < l,\ t > 0;$$
$$c(x,t)\big|_{t=0} = c_0; \qquad (1)$$
$$c(x,t)\big|_{\substack{x=0\\x=l}} = m_0;$$
$$M(t) = \int_0^l c(x,t)dx,$$

где c – концентрация влаги в единице объема образца; c_0 – начальное значение концентрации влаги при $t \to 0$; m_0 – значение концентрации влаги на границах прямоугольной пластины; x – координата, вдоль которой диффундирует влага, мм; l – характерная длина диффузионного пути, мм; t – время, сут.; D – коэффициент диффузии, мм^2/сут.; $M(t)$ – влагосодержание модельного отрезка длины l в момент времени t.

Из уравнения (1) для каждого образца вычисляются параметры одномерной фиковской диффузии (предельное влагонасыщение, коэффициент диффузии):

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

где $n_k = p(2k + 1)$; M_0 – предельное изменение массы; $C_0 = 0$ – начальное изменение массы; $dt = Dt/l^2$ – влажностной аналог числа Фурье, где D – коэффициент диффузии, мм^2/сут; t – время увлажнения или сушки, сут; t – время смены вида формулы, составляет около 1 сут; l – длина диффузионного пути, мм, вычисляемая по формуле

$$1/l_i^2 = 1/L_i^2 + 1/W_i^2 + 1/h_i^2, \qquad (3)$$

где L_i, W_i, h_i – геометрические размеры i-го образца, мм.

Эти два основных диффузионных параметра характеризуют влагоперенос в древесине с коэффициентом детерминированности $R^2 > 0{,}96$ [5], что позволяет моделировать влагоперенос при климатическом старении древесины вторым законом Фика.

Выполненные исследования показали, что кинетика влагонасыщения незащищенных и защищенных образцов древесины в исходном состоянии и на различных этапах климатического старения подобна. На рис. 1, 2 показаны примеры кинетических кривых сорбции влаги в незащищенные образцы осины и липы и аналогичные образцы с тремя защитными пленками: ЭД-20 + АФ-2, ЭД-20 + ПЭПА, ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс после 12 месяцев экспонирования в натурных климатических условиях Геленджика.

Информация о значениях коэффициента диффузии влаги и предельного влагонасыщения, вычисленных по формулам (2) индивидуально для каждого образца, после различных сроков экспонирования в климатических условиях Геленджика показана в табл. 1.

Из анализа этой таблицы следует, что после нанесения защитных покрытий коэффициент диффузии влаги в древесину возрастает, а предельное влагонасыщение уменьшается. Эта закономерность прослеживается и на различных этапах климатического старения древесины.

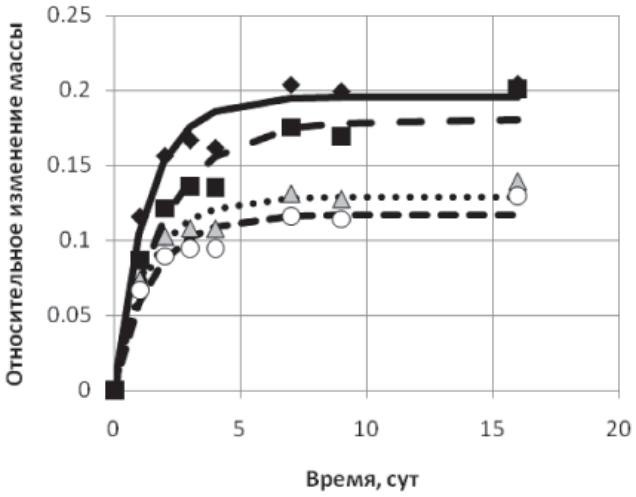

Рис. 1. Кинетика влагонасыщения образцов осины, экспонированных 12 месяцев в натурных климатических условиях Геленджика:
♦ – без защиты; ▲ – покрытие ЭД-20 + АФ-2; ○ – покрытие ЭД-20 + ПЭПА;
■ – покрытие ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс

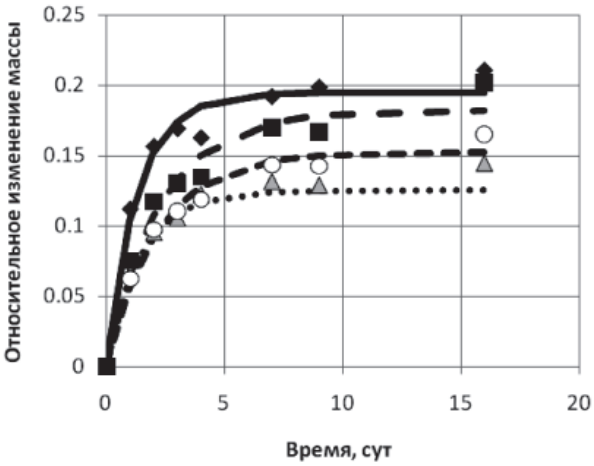

Рис. 2. Кинетика влагонасыщения образцов липы, экспонированных 12 месяцев в натурных климатических условиях Геленджика:
♦ – без защиты; ▲ – покрытие ЭД-20 + АФ-2; ○ – покрытие ЭД-20 + ПЭПА;
■ – покрытие ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс

Поскольку показатели влагопереноса близки по своим значениям для различных сортов древесины, по данным табл. 1 можно оценить роль защитных покрытий по усредненным показателям m_0 и D, представленным в табл. 2. После 12 месяцев климатического старения предельное влагосодержание незащищенной древесины остается на уровне исходных значений, а коэффициент диффузии влаги возрастает на 24 %. Значения D образцов древесины за этот период климатических испытаний также возрастают на 17–47 % при уменьшении на 3–7 % показателя m_0 (табл. 2). Из всех вариантов полимерной защиты наилучший результат достигается при покрытии на основе эпоксидной смолы ЭД-20, отвержденной продуктом АФ-2. Среднее значение предельного влагосодержания образцов древесины, защищенных этим покрытием, после 12 месяцев экспонирования в открытых климатических условиях на 35 % меньше, чем для аналогичных образцов без защиты (табл. 2).

Таблица 1

Влияние защитных покрытий и продолжительности экспонирования в открытых условиях умеренно теплого климата Геленджика на коэффициент диффузии влаги и предельное влагонасыщение древесины

Сорт древесины	Состав защитного покрытия	Коэффициент диффузии влаги, D_s, мм²/сут (числитель) и предельное влагосодержание w_s, % (знаменатель) за время экспонирования, месяцы			
		0	3	6	12
Береза	Без покрытия	1,7/21,1	1,6/22,4	1,4/22,8	1,7/23,3
	ЭД-20 + АФ-2	3,2/16,1	3,8/16,8	4,0/17,6	4,2/16,1
	ЭД-20 + ПЭПА	3,0/17,4	2,9/16,7	3,3/17,1	4,7/15,3
	ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс	3,2/18,1	3,4/18,3	3,9/18,6	4,2/16,0
Дуб	Без покрытия	2,2/19,7	2,0/19,4	2,0/20,4	2,0/21,4
	ЭД-20 + АФ-2	2,6/14,1	3,0/13,8	4,0/13,7	4,6/13,5
	ЭД-20 + ПЭПА	3,0/14,3	2,5/14,4	3,0/14,4	3,0/13,4
	ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс	2,7/17,0	2,8/16,6	3,0/16,0	3,0/16,2
	ЭД-20 + Бутанол	2,1/17,8	2,6/17,3	2,6/17,8	2,7/17,8
	ПН-609-21М	2,1/18,0	2,3/18,5	3,1/19,1	3,9/19,5
Клен	Без покрытия	1,4/22,6	1,5/19,8	1,9/18,7	2,1/20,8
	ЭД-20 + АФ-2	3,1/15,3	3,2/15,1	3,4/14,5	3,6/13,9
	ЭД-20 + ПЭПА	2,6/14,8	3,0/15,8	3,8/14,5	3,5/15,3
	ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс	2,7/17,6	2,8/18,8	3,2/17,0	3,6/18,0
Липа	Без покрытия	1,5/22,5	1,7/20,1	2,0/19,2	2,3/19,5
	ЭД-20 + АФ-2	2,5/15,4	2,3/14,6	4,9/13,0	6,8/12,6
	ЭД-20 + ПЭПА	2,7/14,5	2,3/14,7	3,2/15,3	3,4/13,0
	ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс	2,2/17,9	2,7/18,2	2,7/17,2	2,7/18,2
Осина	Без покрытия	1,3/19,8	1,6/17,6	2,1/18,6	2,2/19,5
	ЭД-20 + АФ-2	2,9/12,5	2,9/13,5	3,7/12,9	4,5/12,9
	ЭД-20 + ПЭПА	3,3/11,9	3,8/12,2	3,9/13,2	4,7/11,7
	ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс	2,9/16,4	2,7/17,3	3,3/16,3	3,2/13,8
Сосна	Без покрытия	2,0/18,7	2,1/18,8	1,9/19,0	2,5/19,8
	ЭД-20 + АФ-2	3,5/11,5	3,2/11,9	3,8/12,0	3,8/11,5
	ЭД-20 + ПЭПА	3,6/13,6	3,0/14,2	3,3/16,6	5,1/11,6
	ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс	4,3/13,2	3,6/12,8	5,7/13,5	3,5/15,5
	ЭД-20 + Бутанол	3,5/18,0	3,6/18,2	3,6/17,2	3,5/14,7
	ПН-609-21М	3,4/17,0	3,3/16,0	3,6/17,5	4,3/17,8
Ясень	Без покрытия	1,7/19,7	1,5/17,3	2,1/18,6	2,2/20,0
	ЭД-20 + АФ-2	3,3/14,0	3,6/13,6	3,2/13,2	3,3/13,1
	ЭД-20 + ПЭПА	2,9/15,3	2,3/14,8	3,2/15,1	5,0/13,6
	ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс	3,1/16,9	2,5/17,8	3,9/16,9	4,1/16,6

Таблица 2

Влияние защитных покрытий и продолжительности экспонирования в открытых условиях умеренно теплого климата Геленджика на усредненные показатели влагопереноса для семи пород древесины

Состав защитного покрытия	Коэффициент диффузии влаги, D_s, мм²/сут (числитель) и предельное влагосодержание w_s, % (знаменатель) за время экспонирования, месяцы			
	0	3	6	12
Без покрытия	1,7/20,6	1,8/19,3	1,9/19,6	2,1/20,6
ЭД-20 + АФ-2	3,0/14,1	3,1/14,2	3,9/13,8	4,4/13,4
ЭД-20 + ПЭПА	3,0/14,5	2,3/14,7	3,4/15,2	3,5/13,5
ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс	3,0/16,7	2,9/17,1	3,7/16,5	3,5/16,3

Таблица 3

Влияние продолжительности экспонирования на усредненные показатели влагопереноса семи пород древесины без покрытия

Показатели влагопереноса	Продолжительность экспонирования на открытом атмосферном стенде, мес.				
	0	1	3	6	12
Коэффициент диффузии влаги на стадии предварительной сушки, D_0, мм²/сут	3,0	6,3	10,9	12,5	20,8
Влагосодержание перед началом сорбционных испытаний w_0, %	6,4	7,3	7,1	9,7	5,9

Причиной обнаруженного уменьшения предельного влагосодержания защищенной древесины после различных сроков экспонирования в натурных климатических условиях является доотверждение эпоксидных покрытий. Для образцов древесины, изготовленных из одной породы и покрытых одинаковой модифицирующей системой, по данным динамической механической спектрометрии [2] наблюдается рост температуры стеклования покрытия с увеличением времени экспозиции на открытом атмосферном стенде и под навесом. Экспериментальное обоснование этого вывода рассмотрено в отдельной работе.

Оценка влагосодержания на стадии предварительной сушки, проведенная по методике, рассмотренной в работе [3], показала (табл. 3), что в образцах древесины в исходном состоянии и после различных периодов экспонирования удерживается от 6 до 10 % влаги. Значение этого показателя зависит от влажности воздуха и атмосферных осадков в момент съема и проведения контрольных взвешиваний образцов. При стабильном влагосодержании почти в 7 раз возрастает коэффициент диффузии влаги на стадии предварительной сушки. Следовательно, по мере увеличения продолжительности экспонирования образцы древесины высыхают быстрее, чем в исходном состоянии.

На основе полученных результатов проведено обобщенное моделирование этих параметров, учитывающее такие факторы, как толщину образца, породу дерева, вид покрытия, продолжительность и условия экспонирования. Были использованы три модели (4)–(6), использующие предположение об аддитивном влиянии перечисленных факторов на показатели влагопереноса:

$$D = d_0 + \sum_{i=1}^{5} dk_i \cdot k_i;$$

$$M_0 = m_0 + \sum_{i=1}^{5} mk_i \cdot k_i;$$

$$k_i = \{t_1, t_2, t_{31}, t_{32}, h\}; \qquad (4)$$

$$D = d_0 + \sum_{i=1}^{5} dk_i \cdot k_i + \sum_{i=1}^{5} k_i \cdot \left(\sum_{j=i}^{5} dk_i k_j \cdot k_j \right);$$

$$M_0 = m_0 + \sum_{i=1}^{5} mk_i \cdot k_i + \sum_{i=1}^{5} k_i \cdot \left(\sum_{j=i}^{5} mk_i k_j \cdot k_j \right);$$

$$\{k_i, k_j\} = \{h, t_{31}, t_{32}, t_1, t_2\}; \qquad (5)$$

$$D = \frac{dp0 + \sum_{i=1}^{5} dpk_i \cdot k_i}{1 + \sum_{i=1}^{5} dbk_i \cdot k_i};$$

$$M_0 = \frac{mp0 + \sum_{i=1}^{5} mpk_i \cdot k_i}{1 + \sum_{i=1}^{5} mbk_i \cdot k_i};$$

$$k_i = \{h, t_1, t_2, t_{31}, t_{32}\}, \qquad (6)$$

где h – толщина образца; t_1 – номер породы дерева (1–7) (табл. 1); t_2 – номер вида покрытия (1–6) (табл. 1); t_{31} – срок экспонирования на открытом атмосферном стенде и под навесом в месяцах (0, 1, 3, 6, 12); t_{32} – тип экспонирования (0 – без экспонирования, 1 – на открытом атмосферном стенде, –1 – под навесом).

Таблица 4

Оценка результатов моделирования влагопереноса по моделям (2, 4–6)

Стадия влагопереноса	Модель	Ошибка модели, %	Коэффициент детерминированности R^2
Предварительная сушка при температуре 60 °C и относительной влажности 0 %	(2)	0,03	0,99
	(4)	0,9	0,75
	(5)	0,4	0,89
	(6)	1,0	0,72
Увлажнение предварительно высушенных образцов при температуре 60 °C и относительной влажности 100 %	(2)	1,1	0,97
	(4)	8,1	0,75
	(5)	4,5	0,86
	(6)	3,8	0,88
Повторная сушка после завершения стадии увлажнения при температуре 60 °C и относительной влажности 0 %	(2)	0,2	0,99
	(4)	2,6	0,84
	(5)	1,5	0,91
	(6)	2,5	0,85

В табл. 4 дана оценка результатов моделирования влагопереноса по формулам (2), (4)–(6) на стадиях предварительной сушки, увлажнения и последующей сушки. Приведенные в этой таблице оценки отличаются высокой достоверностью, так как при моделировании использовано достаточно большое количество измерений массы образцов (14600 измерений на стадиях предварительной сушки, увлажнения и повторной сушки).

Представленные модели (4–6) могут быть использованы для прогнозирования влагопереноса в древесине, обеспечивая коэффициент детерминированности в пределах от 0,72 до 0,91. Модель (5) обеспечивает наилучшее описание стадии сорбции. Модель (6) предпочтительна для характеристики стадий предварительной и повторной сушки.

Заключение

Исследована эффективность эпоксидных покрытий на предельное влагонасыщение и коэффициент диффузии влаги ясеня, березы бородавчатой, сосны обыкновенной, дуба черешчатого, липы, клена, осины при экспонировании в условиях умеренно теплого морского климата Геленджика.

Доказано, что на стадиях предварительной сушки, увлажнения и повторной сушки исходных и подвергнутых климатическому воздействию образцов без защиты и с защитными покрытиями на основе эпоксидной и полиэфирной смол влагоперенос моделируется вторым законом Фика.

После нанесения защитных покрытий коэффициент диффузии влаги в древесину возрастает, а предельное влагонасыщение уменьшается. Эта закономерность прослеживается и на различных этапах климатического старения древесины.

Из всех вариантов полимерной защиты наилучший результат достигается при покрытии на основе эпоксидной смолы ЭД-20, отвержденной продуктом АФ-2. Среднее значение предельного влагосодержания образцов древесины, защищенных этим покрытием, после 12 месяцев экспонирования в открытых климатических условиях на 35 % меньше, чем для аналогичных образцов без защиты.

В образцах древесины в исходном состоянии и после различных периодов экспонирования удерживается от 6 до 10 % влаги. Значение этого показателя зависит от влажности воздуха и атмосферных осадков в момент съема и проведения контрольных взвешиваний образцов. При стабильном влагосодержании почти в 7 раз возрастает коэффициент диффузии влаги на стадии предварительной сушки.

На основе полученных результатов проведено обобщенное моделирование

влагопереноса в древесине, учитывающее толщину образцов, породу дерева, вид покрытия, продолжительность и условия экспонирования. Предложены три модели, основанные на аддитивном влиянии перечисленных факторов на показатели влагопереноса с коэффициентом детерминированности от 0,72 до 0,91.

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 спектрометрии».

Список литературы

1. Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Козомазов В.Н. Полимерные композиционные материалы: учебное пособие. – М.: АСВ, 2013. – 480 с.

2. Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Козомазов В.Н. Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композитных систем. – СПб.: Наука, 2012. – 476 с.

3. Ерофеев В.Т., Соколова Ю.А., Богатов А.Д. и др. Эпоксидные полимербетоны, модифицированные нефтяными битумами, каменноугольной и карбамидными смолами и аминопроизводными соединениями / под общ. ред. Ю.А. Соколовой и В.Т. Ерофеева. – М.: Изд-во «Палеотип», 2008. – 244 с.

4. Микульский В.Г., Сахаров Г.П. Строительные материалы (Материаловедение. Технология конструкционных материалов): учебное издание. – М.: АСВ, 2007. – 520 с.

5. Старцев О.В., Махоньков А.Ю., Молоков М.В., Ерофеев В.Т., Гудожников С.С. Исследование молекулярной подвижности и температуры стеклования полимерных композитов на основе древесины методами динамической механической спектрометрии // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5. – Ч. 6. – С. 1177–1182.

6. Старцев О.В., Фролов А.С., Махоньков А.Ю., Ерофеев В.Т., Гудожников С.С., Кротов А.С. Оценка параметров влагопереноса полимерных композитов на основе древесины на стадии предварительной сушки // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5. – Ч. 6. – С. 1183–1186.

References

1. Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kozomazov V.N. Polimernye kompozicionnye materialy: uchebnoe posobie. M.: ASV, 2013. 480 p.

2. Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kozomazov V.N. Fizika i sinergetika dispersno-neuporjadochennyh kondensirovannyh kompozitnyh sistem. SPb.: Nauka, 2012. 476 p.

3. Erofeev V.T., Sokolova Ju.A., Bogatov A.D. i dr.. Jepoksidnye polimerbetony, modificirovannye neftjanymi bitumami, kamennougolnoj i karbamidnymi smolami i aminoproizvodnymi soedinenijami / pod obshh. red. Ju.A. Sokolovoj i V.T. Erofeeva. M.: Izd-vo «Paleotip», 2008. 244 p.

4. Mikulskij V.G., Saharov G.P. Stroitelnye materialy (Materialovedenie. Tehnologija konstrukcionnyh materialov): uchebnoe izdanie. M.: ASV, 2007. 520 p.

5. Starcev O.V., Mahonkov A.Ju., Molokov M.V., Erofeev V.T., Gudozhnikov S.S. Issledovanie molekuljarnoj podvizhnosti i temperatury steklovanija polimernyh kompozitov na osnove drevesiny metodami dinamicheskoj mehanicheskoj spektrometrii // Fundamentalnye issledovanija. 2014. no. 5. Ch. 6. pp. 1177–1182.

6. Starcev O.V., Frolov A.S., Mahonkov A.Ju., Erofeev V.T., Gudozhnikov S.S., Krotov A.S. Ocenka parametrov vlagoperenosa polimernyh kompozitov na osnove drevesiny na stadii predvaritelnoj sushki // Fundamentalnye issledovanija. 2014. no. 5. Ch. 6. pp. 1183–1186.