

УДК 544.08:620.1

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПОНИРОВАНИЯ НА СТАРЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ С ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

<sup>1</sup>Старцев О.В., <sup>1</sup>Молоков М.В., <sup>1</sup>Махоньков А.Ю., <sup>2</sup>Ерофеев В.Т., <sup>2</sup>Гудожников С.С.

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

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»,  
Саранск, e-mail: yerofeevvt@mail.ru

Исследована эффективность защитных эпоксидных покрытий на изменение предела прочности и модуля упругости при изгибе 7 пород древесины при экспонировании в условиях умеренно теплого морского климата Геленджика. Показатели механических свойств древесины без защиты поверхности после натурального экспонирования существенно понижаются. Эффект снижения механических показателей зависит от продолжительности и условий экспонирования. Полимерные покрытия препятствуют климатическому старению древесины. Использование покрытий на основе эпоксидной смолы ЭД-20 с различными отвердителями и биоцидной добавкой после 12 месяцев экспонирования позволило сохранить среднюю прочность при изгибе на уровне не менее 92%, а в ряде случаев даже увеличить ее до 10%. Еще заметнее эффект защитного воздействия покрытий проявляется по изменению модуля Юнга при изгибе. Этот показатель для образцов с защитными покрытиями увеличился на 10–20% на различных этапах экспонирования. Причинами эффективности защиты является уменьшение предельного влагосодержания в защищенной древесине и доотверждение эпоксидных покрытий.

**Ключевые слова:** древесина, предел прочности при изгибе, модуль упругости, эпоксидное покрытие, доотверждение, влагонасыщение

## THE INFLUENCE OF NATURAL EXPOSURE CONDITIONS ON WEATHERING OF WOOD WITH PROTECTIVE COATINGS

<sup>1</sup>Startsev O.V., <sup>1</sup>Molokov M.V., <sup>1</sup>Makhonkov A.Y., <sup>2</sup>Erofeev V.T., <sup>2</sup>Gudozhnikov S.S.

<sup>1</sup>All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials, Moscow, e-mail: startsevov@gmail.com;

<sup>2</sup>Ogarev Mordovia State University, Saransk, e-mail: yerofeevvt@mail.ru

The protection properties of epoxy coatings on seven wood species were estimated after exposure to Gelendzhik maritime climate. The mechanical properties (flexural modulus and strength) of woods without surface protection significantly decreased after natural weathering. The decrease of mechanical properties is dependent on the exposure length and exposure conditions. The polymer coatings inhibit weathering of wood. The application of coatings based on ED-20 epoxy resin with different curatives and biocides provides good protection properties: after 12 month of natural exposure the mean flexural strength was 92% of the unexposed samples' flexural strength, while in some cases flexural strength even increased by 10%. Flexural modulus is highly affected by application of protective coatings: there was a 10–20% increase during the natural exposure. The protection is based on the decrease of maximum moisture content of wood and post cure of epoxy coatings.

**Keywords:** wood, flexural modulus, flexural strength, epoxy coating, post cure, moisture absorption

Древесина относится к одному из весьма распространенных строительных материалов. Высокая прочность и упругость древесины сочетается с малой плотностью, низкой теплопроводностью, высокой морозостойкостью, легкой обрабатываемостью. Вместе с тем древесина имеет ряд недостатков, которые ограничивают ее область применения в строительстве. Одним из таких недостатков является гигроскопичность и, как следствие, влажностные деформации, загниваемость и возгораемость. Путем применения различных технологических мероприятий указанные недостатки легко устраняются. Для обоснования применения древесных конструкционных и декоративных элементов в открытых климатических условиях необходимы достоверные сведения о способности древесины сохранять

показатели механических свойств в процессе климатического старения. При обработке древесины полимерными системами получают модифицированные материалы с повышенными значениями плотности, прочности, твердости, ударной вязкости. Для модификации древесины применяются фенолформальдегидные, фурановые, полиэфирные, эпоксидные и другие синтетические смолы [1–3]. Полимерные смолы и используемые для отверждения и стабилизации низкомолекулярные компоненты проникают в поверхностные слои дерева и полимеризуются в них. Древесина выполняет роль арматуры, а ее поры, капилляры заполняются полимером. В результате модификации полимерами получается древесина с улучшенными свойствами, с сохранением внешнего вида натурального дерева

и с повышенной стойкостью к воздействию влажности, солнечной радиации, воздействию бактерий, грибковой плесени и других агрессивных факторов [14].

Получению конструкционных материалов на основе древесины с биоцидными свойствами для строительного назначения повышенной долговечности в условиях климатических воздействий уделяется повышенное внимание [7, 21, 22, 23]. Несмотря на широкое распространение полимерных композиционных материалов на основе полимерных связующих [1–4, 6, 8–10, 12, 13, 16, 18], разработка древесных пластиков, устойчивых к климатическому воздействию, является актуальной задачей и требует исследования закономерностей их климатического старения.

**Целью настоящей работы** является исследование влияния защитных покрытий на климатическую стойкость древесины при экспонировании в условиях умеренно теплого морского климата Геленджика.

Объектами исследования выбраны следующие породы древесины: ясень, береза бородавчатая, сосна обыкновенная, дуб черешчатый, липа, клен, осина. Для защиты древесины от климатического воздействия использовали полимерные покрытия на основе эпоксидной смолы ЭД-20. Составы использованных покрытий подробно рассмотрены в [14].

Экспонирование древесины проводилось на открытой площадке Геленджикского центра климатических испытаний ВИАМ [4–8, 13], с суммарным воздействием факторов умеренно теплого климата и под навесом, где отсутствуют осадки и прямые солнечные лучи.

Исследование влияния условий экспонирования на развитие процессов климатического старения древесины без покрытия и с модифицирующими полимерными системами с помощью измерения предела прочности древесины, определения предельного влагонасыщения и коэффициента диффузии влаги, а также с помощью методов динамической механической спектрометрии (ДМС) в исходном состоянии и после различных условий экспозиции.

Для определения предела прочности  $\sigma_{\text{вн}}$  и модуля упругости  $E$  с помощью трехточечного изгиба были выполнены измерения 5 параллельных образцов древесины каждой породы (без защиты и с защитными покрытиями).

Эффективными методами исследования физических свойств древесины и материалов на ее основе являются методы динамической механической спектрометрии (ДМС) [16, 3, 24]. Этими методами полу-

чают информацию о релаксационных переходах при проявлении локальной и сегментальной подвижности цепей макромолекул целлюлозы, стеклования ее аморфной части, пластификацию влагой лигнина и гемицеллюлоз, плавление кристаллитов целлюлозы [3, 19]. Релаксационные механические спектры чувствительны к составу и присутствию модификаторов, технологическим режимам переработки, присутствию влаги. Методы ДМС информативны при исследовании механизмов старения [4, 5, 6, 8, 11, 15, 17, 25] и позволяют измерять такие показатели физических свойств, которые бы не зависели от неоднородностей строения и морфологии древесины. Такими показателями являются температуры стеклования  $T_g$  лигниноцеллюлозного комплекса и модифицирующих полимерных систем. В работе [14] представлена методика определения  $T_g$  древесины и ее защитных покрытий по температурам минимума производной динамического модуля сдвига  $dG'/dT$  и максимума динамического модуля потерь  $G''$  в главной релаксационной области.

ДМС-измерения в настоящей работе проведены с помощью обратного крутильного маятника, рассмотренного в [19]. Для повышения оперативности и чувствительности измерений маятник был оснащен автоматизированными системами регулирования температуры, контроля и обработки параметров затухающих колебаний. Измерения динамических механических характеристик выполнялись в температурном интервале 25–230 °С. Точность поддержания температуры составила 0,5 °С, абсолютное значение начальной амплитуды раскачки < 1°, скорость изменения температуры в камере 1 °С/мин. Относительная погрешность определения динамического модуля сдвига < 2%.

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

Измерениями установлено, что после нанесения эпоксидных полимерных пленок на поверхность образцов во всех исследованных породах древесины происходит снижение предела прочности  $\sigma_{\text{вн}}$  и модуля упругости  $E$  (табл. 1). Возможной причиной такого уменьшения является вклад покрытий в увеличение толщины образцов. Для параллельных образцов характерен разброс показателей механических свойств на уровне 15–25%, обусловленный особенностями текстуры. Разнообразие размеров и взаимного расположения сосудов, сердцевинных лучей, древесных волокон и других анатомических элементов является причиной таких значительных различий в значениях  $\sigma_{\text{вн}}$  и  $E$  для образцов, вырезанных даже из близко расположенных участков пластины.

**Таблица 1**

Влияние полимерных покрытий на величину предела прочности, МПа (числитель) и модуля Юнга при изгибе, ГПа (знаменатель)

Состав защитного покрытия	Предел прочности, МПа (числитель) и модуль Юнга при изгибе, ГПа (знаменатель) для древесины различных пород						
	Береза	Дуб	Клен	Липа	Ясень	Осина	Сосна
Без защиты	197/15	157/13	156/12	101/10	115/7,0	107/10	120/11
ЭД-20 + АФ-2	125/6,5	126/5,8	112/4,4	82/3,9	99/4,1	119/5,9	64/2,9
ЭД-20 + ПЭПА	164/6,1	115/4,6	90/4,8	88/4,3	119/5,9	112/5,2	55/3,9
ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс	129/5,7	100/5,1	102/4,8	83/4,6	75/3,5	90/4,4	65/3,8

**Таблица 2**

Влияние условий и продолжительности экспонирования на усредненные показатели механических свойств семи пород древесины

Продолжительность климатического старения, месяцы	Условия экспонирования	Усредненные показатели механических свойств семи пород древесины*	
		Предел прочности при изгибе $\sigma_{\text{вн}}$ , МПа	Модуль Юнга при изгибе $E$ , ГПа
0	Исходное состояние	136/100	11,1/100
1	Атмосферный стенд	131/96	8,7/78
	Навес	135/99	9,3/84
3	Атмосферный стенд	110/81	6,1/55
	Навес	118/87	7,5/68
6	Атмосферный стенд	91/67	5,6/51
	Навес	104/76	6,8/61
12	Атмосферный стенд	102/75	5,4/49

Примечание. \* числитель – абсолютное значение, знаменатель – процент от исходного значения.

Показатели механических свойств древесины без защиты поверхности при натурном экспонировании существенно понижаются. В табл. 2 показано, что эффект снижения механических показателей зависит от продолжительности старения.

Например, после 6 месяцев экспонирования на открытом атмосферном стенде предел прочности при изгибе уменьшается на 33%, а модуль Юнга на 49%. Эффект снижения механических показателей зависит также от условий экспонирования. Образцы при выдержке под навесом изолированы от воздействия атмосферных осадков и прямой солнечной радиации. Температура образцов под навесом мало отличается от температуры воздуха, тогда как на открытом атмосферном стенде перегрев образцов в солнечные дни достигает 20–30 °С [13]. По этой причине умеренно теплый микроклимат под навесом менее агрессивен, чем в условиях открытой атмосферы. Под воздействием этих условий механические показатели древесины уменьшаются в меньшей степени. Для сравнения, после 6 месяцев экспонирования под навесом

средний предел прочности при изгибе для 7 пород древесины уменьшается на 24%, а модуль Юнга на 39%.

Результаты аналогичных измерений защищенных образцов представлены в табл. 3–5. Установлено, что полимерные покрытия препятствуют климатическому старению древесины. Использование покрытий на основе эпоксидной смолы ЭД-20 с различными отвердителями и биоцидной добавкой после 12 месяцев экспонирования позволило сохранить среднюю прочность при изгибе на уровне не менее 92%, а в ряде случаев даже увеличить ее до 10%. Еще заметнее положительный эффект проявляется по изменению модуля Юнга при изгибе. Этот показатель увеличился на 10–20% после 1, 3, 6, 12 месяцев по сравнению с аналогичными значениями в исходном состоянии.

Возможной причиной эффективности защиты является уменьшение предельного влагосодержания в древесине с нанесенными покрытиями. Для всех пород древесины на стадии предварительной сушки было установлено [16], что влагосодержание в присутствии покрытия уменьшается на

30–50%. Среднее предельное влагонасыщение древесины с защитными полимерными покрытиями в исходном состоянии и после

экспонирования на открытом атмосферном стенде также уменьшается на 20–30% (табл. 6).

Таблица 3

Влияние условий и продолжительности экспонирования на усредненные показатели механических свойств древесины с покрытием ЭД-20 + АФ-2

Продолжительность климатического старения, месяцы	Условия экспонирования	Усредненные показатели механических свойств древесины, защищенной системой ЭД-20 + АФ-2*	
		Предел прочности при изгибе $\sigma_{\text{вн}}$ , МПа	Модуль Юнга при изгибе $E$ , ГПа
0	Исходное состояние	104/100	4,8/100
1	Атмосферный стенд	108/104	5,8/121
	Навес	106/102	5,6/117
3	Атмосферный стенд	102/98	5,2/108
	Навес	103/99	5,6/117
6	Атмосферный стенд	91,5/88	4,9/102
	Навес	92,2/89	5,2/108
12	Атмосферный стенд	102/98	5,7/119

Примечание. \* числитель – абсолютное значение, знаменатель – процент от исходного состояния.

Таблица 4

Влияние условий и продолжительности экспонирования на усредненные показатели механических свойств древесины с покрытием ЭД-20 + ПЭПА

Продолжительность климатического старения, месяцы	Условия экспонирования	Усредненные показатели механических свойств древесины, защищенной системой ЭД-20 + ПЭПА*	
		Предел прочности при изгибе $\sigma_{\text{вн}}$ , МПа	Модуль Юнга при изгибе $E$ , ГПа
0	Исходное состояние	106/100	5,0/100
1	Атмосферный стенд	116/109	6,5/130
	Навес	104/96	5,8/116
3	Атмосферный стенд	108/102	6,1/122
	Навес	104/96	5,4/108
6	Атмосферный стенд	100/94	5,7/114
	Навес	98/93	5,4/108
12	Атмосферный стенд	98,5/93	5,6/112

Примечание. \* числитель – абсолютное значение, знаменатель – процент от исходного состояния.

Возрастание модуля Юнга защищенной древесины после различных сроков экспонирования в натуральных климатических условиях можно объяснить доотверждением эпоксидных покрытий по данным ДМС. На рисунке показан пример увеличения температуры стеклования покрытия ЭД-20 + АФ-2, нанесенного на образцы липы, в области перехода из стеклообразного в высокоэластическое состояние после экспонирования на открытом атмосферном стенде и под навесом. Атмосферная влага является катализатором доотверждения по

молекулярному механизму, ранее рассмотренному в [4, 15, 17, 25].

Ранее было показано [1], что значения температур стеклования полимерных покрытий в исходном состоянии определяются их химическим составом и находятся в интервале от 40 до 55 °С. Исследованные системы древесины – полимерное покрытие по характеру молекулярного движения подчиняются правилу простой смеси, так как порода древесины не влияет на температуры стеклования отвержденных смол с конкретным набором отвердителей и модификаторов.

**Таблица 5**

Влияние условий и продолжительности экспонирования на усредненные показатели механических свойств древесины с покрытием ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс

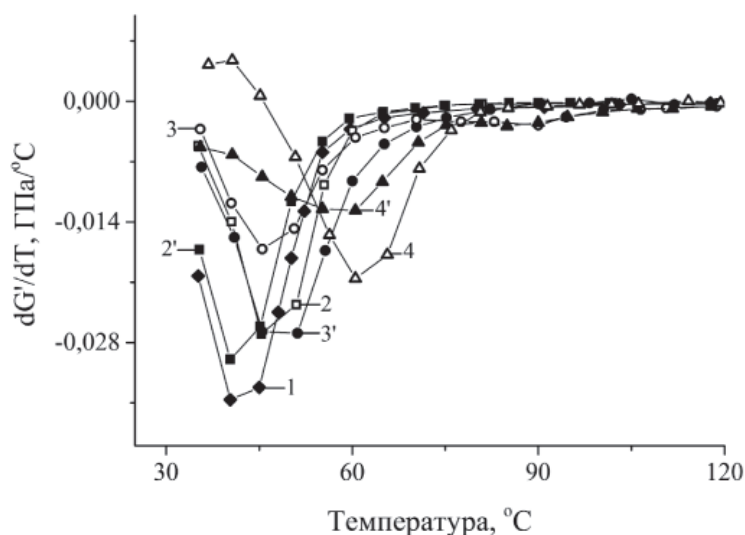
Продолжительность климатического старения, месяцы	Условия экспонирования	Показатели древесины, защищенной системой ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс*	
		Предел прочности при изгибе $\sigma_{\text{вн}}$ , МПа	Модуль Юнга при изгибе $E$ , ГПа
0	Исходное состояние	92/100	4,6/100
1	Атмосферный стенд	102/108	4,9/107
	Навес	100/111	5,5/120
3	Атмосферный стенд	88/96	5,4/117
	Навес	89/97	4,8/104
6	Атмосферный стенд	85/92	5,1/111
	Навес	86//93	4,7/102
12	Атмосферный стенд	91/99	5,4/117

Примечание. \* числитель – абсолютное значение, знаменатель – процент от исходного состояния.

**Таблица 6**

Среднее предельное влагонасыщение семи пород древесины без защиты и с защитными полимерными покрытиями в исходном состоянии и после 6 месяцев экспонирования на открытом атмосферном стенде

Состав защитного покрытия	Предельное влагонасыщение, %	
	в исходном состоянии	после 6 месяцев экспонирования на открытом атмосферном стенде
Древесина без покрытий	20,4	18,9
ЭД-20 + АФ-2	14,1	13,0
ЭД-20 + ПЭПА	14,2	13,8
ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс	16,8	15,9



Зависимости  $dG/dT$  древесины липы в области перехода из стеклообразного в высокоэластическое состояние покрытия на основе смолы ЭД-20 и отвердителя АФ-2 в исходном состоянии (1) и после экспонирования в течение 1 месяца (2, 2'), 3 месяцев (3, 3'), 6 месяцев (4, 4') под навесом (2, 3, 4) и на открытом атмосферном стенде (2', 3', 4')

Для образцов древесины, изготовленных из одной породы и покрытых одинаковой модифицирующей системой, наблюдается рост температуры стеклования с увеличением времени экспозиции на открытом атмосферном стенде и под навесом. Для динамического модуля потерь с течением времени экспозиции наблюдается снижение абсолютных значений этого показателя, что является признаком уменьшения эластичности эпокисоединений из-за происходящих под воздействием внешней среды реакций доотверждения [4, 14].

После 12 месяцев экспозиции в открытых климатических условиях для всех покрытий наблюдается возрастание температуры стеклования от 42–53 до 68–70 °С. Типичный пример представлен в табл. 7 для трех покрытий, нанесенных на образцы древесины липы, экспонированной на открытом атмосферном стенде в течение 12 месяцев.

хранить среднюю прочность при изгибе на уровне не менее 92 %, а в ряде случаев даже увеличить ее до 10 %. Еще заметнее эффект защитного воздействия покрытий проявляется по изменению модуля Юнга при изгибе. Этот показатель для образцов с защитными покрытиями увеличился на 10–20 % на различных этапах экспонирования.

Возможной причиной эффективности защиты является уменьшение предельного влагосодержания в древесине, защищенной покрытиями.

Возрастание модуля Юнга защищенной древесины после различных сроков экспонирования в натуральных климатических условиях обусловлено доотверждением эпоксидных покрытий. Для образцов древесины, изготовленных из одной породы и покрытых одинаковой модифицирующей системой, наблюдается рост температуры стеклования покрытия с увеличением времени экспозиции на открытом атмосферном стенде и под навесом.

Таблица 7

Влияние продолжительности экспонирования образцов липы с защитными полимерными покрытиями на температуру стеклования покрытий

Состав защитного покрытия	Температура стеклования защитного покрытия ( $T_g$ , °С) после экспонирования на открытом атмосферном стенде в течение, мес.				
	0	1	3	6	12
ЭД-20 + АФ-2	42,3	42,6	48	58	69,5
ЭД-20 + ПЭПА	53,8	54,6	55,0	59,6	68,4
ЭД-20 + ПЭПА + Тефлекс	48,7	52,3	54,8	56,5	68,1

### Заключение

Измерениями установлено, что после нанесения на поверхность образцов эпоксидных полимерных пленок во всех исследованных породах древесины происходит снижение предела прочности и модуля упругости при изгибе. Возможной причиной такого уменьшения является вклад покрытий в увеличение толщины образцов.

Показатели механических свойств древесины без защиты поверхности при натурном экспонировании в условиях умеренно теплого климата Геленджика существенно понижаются. Эффект снижения механических показателей зависит от продолжительности и условий экспонирования.

Полимерные покрытия препятствуют климатическому старению древесины. Использование покрытий на основе эпоксидной смолы ЭД-20 с различными отвердителями и биоцидной добавкой после 12 месяцев экспонирования позволило со-

*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. 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.: Палеотип, 2008. – 244 с.
4. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. I. Механизмы старения // Деформация и разрушение материалов. – 2010. – № 11. – С. 19–26.

5. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. II. Релаксация исходной структурной неравновесности и градиент свойств по толщине // Деформация и разрушение материалов. – 2010. – № 12. – С. 40–46.
6. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения // Деформация и разрушение материалов, 2011. – № 1. – С. 34–40.
7. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М., Панин С.В. Коррозионная агрессивность приморской атмосферы. ч. 1. факторы влияния (обзор) // Коррозия: материалы, защита, 2013. – № 12. – С. 6–18.
8. Кириллов В.Н., Вапиров Ю.М., Дрозд Е.А. Исследование атмосферной стойкости полимерных композитных материалов в условиях атмосферы теплого влажного и умеренно теплого климата // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 4. – С. 31–38.
9. 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.
10. 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.
11. Офицерова М.Г., Хольшева Н.В., Новикова Т.А., Панин С.В., Конкина В.Н. Атмосферное старение лакокрасочных покрытий в умеренно теплом приморском климате г. Геленджика // Авиационные материалы и технологии. – 2008. – № 2. – С. 27–31.
12. Панин С.В., Старцев О.В., Кротов А.С. Диагностика начальной стадии климатического старения ПКМ по изменению коэффициента диффузии влаги // Труды ВИАМ. – 2014. – № 7. – Ст. 06 (viam-works.ru).
13. Старцев О.В., Медведев И.М., Кротов А.С., Панин С.В. Зависимость температуры поверхности образцов от характеристик климата при экспозиции в природных условиях // Коррозия: материалы, защита. – 2013. – № 7. – С. 43–47.
14. 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 спектроскопии // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5. – Ч. 6. – С. 1177–1182.
15. Старцев О.В., Прокопенко К.О., Литвинов А.А., Кротов А.С., Аниховская Л.И., Дементьева Л.А. Исследование термовлажного старения авиационного стеклопластика // Герметики, клеи, технологии. – 2009. – № 8. – С. 18–22.
16. 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.
17. Старцев О.В., Аниховская Л.И., Литвинов А.А., Кротов А.С. Повышение достоверности прогнозирования свойств полимерных композитных материалов при термовлажностном старении // Доклады академии наук, 2009. – Т. 428. – № 1. – С. 56–60.
18. Фролов А.С., Панин С.В. Оценка параметров влагопереноса углепластика авиационного назначения на начальной стадии натурной климатической экспозиции // Труды ВИАМ, 2014. – № 7. – Ст. 08 (viam-works.ru).
19. Филистович Д.В., Старцев О.В., Суранов А.Я. Автоматизированная установка для динамического механического анализа // Приборы и техника эксперимента. – 2003. – № 4. С. 163–164.
20. Шахзадян Э.А., Квачев Ю.П., Папков В.С. Динамические механические свойства некоторых пород древесины // Высокомолекулярные соединения. – 1994. – Т. 36(А). – № 8. – С. 1298–1303.
21. Javaid M., Abdul Khalil H., Alattas O.S. Woven Hybrid Biocomposites: Dynamic Mechanical and Thermal Properties // Composites. – 2012, A43: 288–293.
22. Hosseinaei O., Siqun Wang S., Enayati A., Rials T.G. Effects of Hemicellulose Extraction on Properties of Wood Flour and Wood-Plastic Composites // Composites. – 2012. – A43. – P. 686–694.
23. Naumann A., Stephan I., Noll M. Material Resistance of Weathered Wood-Plastic Composites Against Fungal Decay // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2012. – Vol. 75, № 11. – P. 28–35.
24. Startsev O.V., Salin B.N., Skuridin Y.G., Utemesov R.M., Nasonov A.D. Physical Properties and Molecular Mobility of New Wood Composite Plastic «Thermobalite» // Wood Sci Technol. – 1999. – Vol. 33. – P. 73–83.
25. Startsev O.V., Krotov A.S., Golub P.D. Effect of Climatic and Radiation Ageing on Properties of Glass Fiber Reinforced Epoxy Laminates // Polymers and Polymer Composites. – 1998. – Т. 6. – № 7. – P. 481–488.

## References

1. Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kozomazov V.N. Polimernye kompozicionnye materialy: uchebnoe posobie. M.: ASV, 2013. 480 s.
2. Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kozomazov V.N. Fizika i sinergetika dispersno-neuporjadochennykh kondensirovannykh kompozitnykh sistem. SPb.: Nauka, 2012. 476 p.
3. Erofeev V.T., Sokolova Ju.A., Bogatov A.D. [i dr.]. Jepoksidnye polimerbetony, modifitsirovannye nefljanymi bitumami, kamennougolnoj i karbamidnymi smolami i aminoproizvodnymi soedinenijami / pod obshh. red. Ju. A. Sokolovoj i V.T. Erofeeva. M.: Paleotip, 2008. 244 s.
4. Kablov E.N., Starcev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N. Klimaticheskoe starenie kompozicionnykh materialov aviacionnogo naznachenija. I. Mehanizmy starenija // Deformacija i razrushenie materialov, 2010. no. 11. pp. 19–26.
5. Kablov E.N., Starcev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N. Klimaticheskoe starenie kompozicionnykh materialov aviacionnogo naznachenija. II. Relaksacija ishodnoj strukturnoj neravnovesnosti i gradient svojstv po tolshine // Deformacija i razrushenie materialov. 2010. no. 12. pp. 40–46.
6. Kablov E.N., Starcev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N. Klimaticheskoe starenie kompozicionnykh materialov aviacionnogo naznachenija. III. Znachimye faktory starenija // Deformacija i razrushenie materialov, 2011. no. 1. pp. 34–40.
7. Kablov E.N., Starcev O.V., Medvedev I.M., Panin S.V. Korrozionnaja agressivnost primorskoj atmosfery. ch. 1. faktory vlijanija (obzor) // Korrozija: materialy, zashhita, 2013. no. 12. pp. 6–18.
8. Kirillov V.N., Vapirov Ju.M., Drozd E.A. Issledovanie atmosfernoj stojkosti polimernykh kompozitnykh materialov v uslovijah atmosfery teplogo vlazhnogo i umerenno teplogo klimata // Aviacionnye materialy i tehnologii, 2012. no. 4. pp. 31–38.
9. Melekhina M.I., Kavun N.S., Rakitina V.P. Jepoksidnye stekloplastiki s uluchshennoj vlago- i vodostojkostju // Aviacionnye materialy i tehnologii, 2013. no. 2. pp. 29–31.
10. Nikolaev E.V., Kirillov V.N., Skirta A.A., Grashhenkov D.V. Issledovanie zakonomernostej vlagoperenosa i

razработка standarta po opredeleniju koeficienta diffuzii i predelnogo vlagosoderzhaniya dlja ocenki mehanicheskikh svojstv ugleplastikov // *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2013. no. 3. pp. 44–48.

11. Oficerova M.G., Holsheva N.V., Novikova T.A., Panin S.V., Konkina V.N. Atmosfernoe starenie lakokrasochnykh pokrytij v umerenno teplom primorskom klimata g. Gelendzhika // *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2008. no. 2. pp. 27–31.

12. Panin S.V., Starcev O.V., Krotov A.S. Diagnostika nachalnoj stadii klimaticeskogo starenija PKM po izmeneniju koeficienta diffuzii vlazi // *Trudy VIAM*, 2014. no. 7. St. 06 (viam-works.ru).

13. Starcev O.V., Medvedev I.M., Krotov A.S., Panin S.V. Zavisimost temperatury poverhnosti obrazcov ot harakteristik klimata pri jekspozicii v naturnykh uslovijah // *Korroziya: materialy, zashhita*, 2013. no. 7. pp. 43–47.

14. Starcev O.V., Mahonkov A.Ju., Molokov M.V., Erofeev V.T., Gudozhnikov S.S. Issledovanie molekularnoj podvizhnosti i temperatury steklovanija polimernykh kompozitov na osnove drevesiny metodami dinamicheskoi mehanicheskoi spektrometrii // *Fundamentalnye issledovanija*. 2014. no. 5. Ch. 6. pp. 1177–1182.

15. Starcev O.V., Ppokopenko K.O., Litvinov A.A., Krotov A.S., Anihovskaja L.I., Dementeva L.A. Issledovanie termovlazhnostnogo stopenija aviacionnogo stekloplastika // *Germetiki, klei, tehnologii*, 2009. no. 8. pp. 18–22.

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

17. Starcev O.V., Anihovskaja L.I., Litvinov A.A., Krotov A.S. Povyshenie dostovernosti prognozirovaniya svojstv

polimernykh kompozitnykh materialov pri termovlazhnostnom starenii // *Doklady akademii nauk*, 2009. T. 428. no. 1. pp. 56–60.

18. Frolov A.S., Panin S.V. Ocenka parametrov vlagoperenosa ugleplastika aviacionnogo naznachenija na nachalnoj stadii naturnoj klimaticeskoi jekspozicii // *Trudy VIAM*, 2014. no. 7. St. 08 (viam-works.ru).

19. Filistovich D.V., Starcev O.V., Suranov A.Ja. Avtomatizirovannaja ustanovka dlja dinamicheskogo mehanicheskogo analiza // *Pribory i tehnika jeksperimenta*, 2003. no. 4. pp. 163–164.

20. Shahzadjan Je.A., Kvachev Ju.P., Papkov V.S. Dinamicheskie mehanicheskie svojstva nekotorykh porod drevesiny // *Vysokomolekuljarnye soedinenija*, 1994. T. 36(A). no. 8. pp. 1298–1303.

21. Javaid M., Abdul Khalil H., Alattas O.S. Woven Hybrid Biocomposites: Dynamic Mechanical and Thermal Properties // *Composites*, 2012, A43: 288–293

22. Hosseinaei O., Siqun Wang S., Enayati A., Rials T.G. Effects of Hemicellulose Extraction on Properties of Wood Flour and Wood-Plastic Composites // *Composites*, 2012, A43, 686–694.

23. Naumann A., Stephan I., Noll M. Material Resistance of Weathered Wood-Plastic Composites Against Fungal Decay // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2012. Vol. 75, no. 11, pp. 28–35.

24. Startsev O.V., Salin B.N., Skuridin Y.G., Utemesov R.M., Nasonov A.D. Physical Properties and Molecular Mobility of New Wood Composite Plastic «Thermobalite» // *Wood Sci Technol*. 1999. Vol. 33. pp. 73–83.

25. Startsev O.V., Krotov A.S., Golub P.D. Effect of Climatic and Radiation Ageing on Properties of Glass Fiber Reinforced Epoxy Laminates // *Polymers and Polymer Composites*. 1998. T. 6. no. 7. pp. 481–488.