

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-6-19-31

Ярцев В.П., Киселева О.А., *Монастырев П.В., Езерский В.А.

Тамбовский государственный технический университет

*E-mail: monastyrev68@mail.ru

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ ПЛАСТИКОВ

Аннотация. В качестве объекта исследования в работе были выбраны: древесина, ламинат, ДСП и ДВП, так как они получили широкое применение в строительстве. Древесные материалы отличаются ценным сочетанием таких свойств, как высокая прочность и низкая теплопроводность, обладая при этом низкой водостойкостью и биостойкостью.

В данной статье рассматривается один из способов решения данной проблемы – модификация древесных материалов жидкими мономерами: эмукрилами С и М, эмульсией 252, акратамом AS02. Было выявлено влияние модификаторов на такие свойства, как прочность, водопоглощение, набухание, водостойкость, огнестойкость и биостойкость материалов. Однако в процессе эксплуатации любое изделие и конструкция находится под длительным воздействием одновременно нескольких факторов: температуры, нагрузки, влажности, старения и т.д. Поэтому при проведении исследований особое внимание было уделено изучению именно долговечности модифицированных древесных материалов различной структуры. Для выявления закономерностей длительной работы материалов были проведены комплексные испытания, учитывающие одновременное действие нагрузки, времени и температуры эксплуатации. Также затронут вопрос изменения структуры древесных пластиков при их модификации.

Представленные результаты позволяют прогнозировать работоспособность модифицированных древесных материалов в режиме длительного воздействия эксплуатационных факторов, т.е. температуры и нагрузки. На базе полученных результатов установлен оптимальный режим модификации (пропитка мономерами в течение 3 суток и термообработка при 80 °С для древесины и ДСП в течение 8–10 ч, для ламината – 6 ч). Для повышения гидрофизических свойств древесных материалов хорошо зарекомендовали себя акратам и эмукрил М. Модификация позволяет отсрочить появления нежелательных процессов в виде образования налета и гнили в два-три раза.

Ключевые слова: древесина, древесные пластики, модификация, термообработка, долговечность, прочность, гидрофизические свойства

1. Введение. В настоящее время в России и по всему миру наблюдается тенденция по увеличению количества домов с несущими и ограждающими конструкциями из древесины. Появляются и многоэтажные здания: в России это 4 этажа, в Канаде есть здание этажностью в 14 этажей. Такой интерес к древесине вызван комплексом ценных свойств, присущих только ей. Так она обладает одновременно хорошими теплофизическими свойствами и высокой прочностью. Кроме того, дерево – это экологичный материал. Невозможно все здание построить только из чистого дерева, поэтому наряду с ним широкое применение получили и древесные композиты: фанера, ламинат, LVL-брус, ДВП, ОСП и другие. Ламинат и фанера нашли также применение не только в деревянных зданиях, но и, например, выполненных из кирпича.

Как и любой другой материал древесина и древесные пластики имеют свои недостатки. К ним относятся горючесть, низкая биостойкость, низкие гидрофизические свойства [1]. Справиться с двумя последними можно путем модификации древесных материалов. Модификацией древесины и древесных плит занимались такие

ученые как Хрулев В.А., Машкин Н.А., Винник Н.И., Хухрянский П.Н., Мовнин М.С., Золднерс Ю.А., Роценс К.А., Шутов Г.М., Фрейдин А.С и др. [2–6].

Еще одним преимуществом древесины как раз и является наличие у нее предела длительного сопротивления, т.е. напряжения ниже которого материал не разрушится [1]. Ряду древесных композитов также свойственно наличие данного показателя, но при этом все они чувствительны к условиям среды: температуре, влажности. При модификации материала происходит изменение структуры материала и как следствие будет изменяться механизм его разрушения.

Существует множество работ, посвященных исследованиям влияния модификаторов на такие параметры древесины, как прочность, водостойкость, биостойкость и т.п. [6–8]. В реальности же в процессе эксплуатации материал находится под действием длительных нагрузок и температуры [9, 10]. Кроме того, работа материала осложняется комплексом внешних факторов (старения, жидкой агрессивной среды, в том числе воды), влияние которых также происходит длительно, а не одномоментно [11].

Поэтому очень важно рассмотреть работу модифицированных древесных композитов с позиции не только базовых свойств, но и долговечности [12]. Чему как раз и посвящена основная часть представленных исследований.

Таким образом, целью данной работы является подбор модификаторов, позволяющих повысить гидрофизические свойства материала и их биостойкость, а также изучить их работу во времени в условиях эксплуатации.

2. Материалы и методы исследований. В качестве исследуемых материалов применялись: древесина (сосна 2 сорта), ламинат, ДСП и ДВП, а в качестве их модификаторов керосин и жидкие мономеры – эмукрил С и М, эмульсия 252, акратам AS02. Изначально был подобран оптимальный режим модификации, выбор которого осуществлялся по следующим параметрам: прирост массы, изменение прочности после пропитки. Для ряда серий образцов также определялись их твердость и водостойкость.

Для чистоты эксперимента и сходимости результатов, полученных при кратковременных и длительных испытаниях прочность и твердость древесных пластиков, определялись на специализированных установках, предназначенных для длительных испытаний. Испытания проводились путем фиксирования при поперечном изгибе максимальной разрушающей нагрузки – в первом случае или глубины погружения индентора при фиксированной нагрузке – во втором случае. Установки содержат тепловые электронагревательные элементы (ТЭНы) воздушного типа, а также позволяют фиксировать время до разрушения с помощью секундомера и электронного разрывателя.

Испытания на водопоглощение проводились по стандартной методике с использованием технических весов ВЛКТ-500-М с точностью до 0,01 г. Предварительно взвешенные образцы помещали в емкость с водой при температуре 20 ± 2 °C и через заданный интервал времени фиксировали их массу. Водостойкость образцов определялась по стандартной методике после их взаимодействия с водой через заданный интервал времени.

Для получения микрофотографий структуры образцов использовался цифровой микроскоп Levenhuk D50L NG с максимальным увеличением – 1280 крат.

Для выявления закономерностей длительной работы древесных пластиков и древесины были проведены комплексные испытания, учитывающие одновременное действие нагрузки, времени и температуры эксплуатации. В ходе испытаний два фактора (нагрузка и температура) задавались,

а третий, время до разрушения образцов, фиксировался. По полученным данным были построены зависимости изменения долговечности от прочности, которые описываются представленными ниже уравнениями [10, 11].

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \gamma \sigma}{R} (T^{-1} - T_m^{-1}) \right], \quad (1)$$

где τ_m , U_0 , γ и T_m – физические константы материала: τ_m – минимальная долговечность (период колебания кинетических единиц – атомов, групп атомов, сегментов), [с]; U_0 – максимальная энергия активации разрушения, [кДж/моль]; γ – структурно-механическая константа, [кДж/(моль×МПа)]; T_m – предельная температура существования твердого тела (температура разложения), [K]; R – универсальная газовая постоянная, [кДж/(моль×K)]; τ – время до разрушения (долговечность), [с]; σ – напряжение, [МПа]; T – температура, [K].

Частные случаи уравнения 1:

– для параллельных прямых

$$\tau = \tau_* \exp \frac{U}{RT} \exp(-\beta \sigma), \quad (2)$$

– для обратного пучка

$$\tau = \tau_m^* \exp \frac{U_0^* - \gamma^* \sigma}{RT} \left(\frac{T_m^*}{T} - 1 \right), \quad (3)$$

где τ_* , U , τ_m^* , U_0^* , γ^* , T_m^* – эмпирические константы; β – структурно-механический коэффициент, [1/МПа].

Расчет констант, входящих в уравнения (1–3), осуществляется по методике, описанной в работах [9–11]. Дополнительно были проведены испытания по изучению влияния модификации на биостойкость и огнестойкость древесных материалов. Для изучения огнестойкости образцы подвергали воздействию открытого пламени в течение 60 с, после чего фиксировалось изменение массы образцов и их размеров. При изучении биостойкости образцы погружали в воду и фиксировали изменения внешнего вида образцов, образование гнили, а также изменения, происходящие в воде.

3. Результаты и обсуждения. Ранее в работе [13] уже было представлено влияние вида модификатора на ряд свойств древесины, которые представлены в табл. 1.

Из представленных данных видно, что наилучшими механическими показателями обладает древесина, для модификации которой использовался керосин (при разрушении поперечным изгибом), акратам AS 01 (при разрушении сжатием). С позиции повышения гидрофизических свойств композита лучше всего проявляет себя эмукрил М. Также необходимо отметить, что при использовании в качестве модификатора эмульсии 252 древесина ведет себя неоднозначно – она хорошо поглощает воду, как и натуральная древесина, но при этом ее водостойкость самая

высокая (на 30 % выше по сравнению с исходным материалом). Следовательно, данные виды модификатора защищают стенки клеток древесины от проникновения воды.

Таблица 1

Влияние модификации древесины на ее свойства [13]

Модификатор	Предел прочности, МПа, при			Твердость, МПа	Модуль деформации при сжатии, МПа		Водопоглощение, %		Набухание, %		Водостойкость, МПа	
	изгибе	скалывании	сжатии		вдоль волокон	поперек волокон	2 ч	1 месяц	2 ч	1 месяц	2 ч	1 месяц
Натуральная древесина	82,97	5,42	56,6	20	10000	—	35	112,0	4,2	4,8	20,1	19,9
Эмульсия 252	104,8	2,84	26,61	—	15154	5491	31,4	124,1	4,3	6,0	26,0	21,9
Эмукрил М	101,1	2,65	50,53	—	13065	5305	7,8	81,0	2,1	4,5	25,4	22,2
Эмукрил С	110	—	55,60	—	—	—	14,0	—	—	—	—	—
Акратам AS 01	—	—	65,57	—	—	—	29,8	118,0	3,2	4,7	—	—
Керосин	116	—	63	31	—	—	15	—	4,0	3,8	22,2	22,0

3.1. Выбор режима модификации. По данным, представленным в работе [13], был выбран оптимальный режим модификации древесины и древесных пластиков. Наивысшей прочности 115 МПа (что превышает прочность самой древесины на 23 %) модифицированная древесина достигает при термообработке в 60°C в течении 12 ч. Увеличение температуры до 80°C приводит к ускорению процесса до 8–10 ч, но при этом упрочнение составит только 20 %. Дальнейшее повышение температуры приводит к деструкции

модификатора, имеющего полимерную основу, и как следствие к снижению прочности на 10 % относительно прочности натуральной древесины (при 120 °C) (рис. 1–2). Таким образом, оптимальный режим модификации мономерами был принят следующим: пропитка в течение 3 суток с последующей термообработкой в течении 8–10 ч при 80 °C. При использовании в качестве модификатора керосина продолжительность пропитки увеличивалась до 7 суток, и термообработка не проводилась.

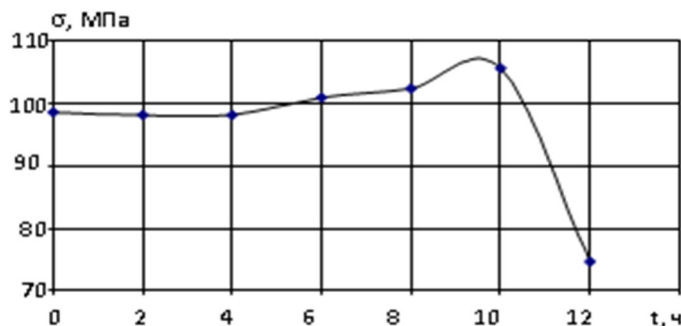


Рис. 1. Влияние длительности термообработки (80 °C) на прочность при изгибе древесины, пропитанной эмукрилом М

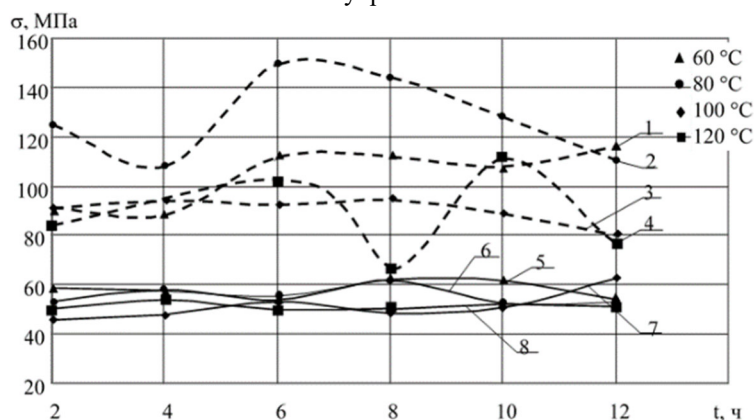


Рис. 2. Влияние длительности и температуры термообработки на прочность (при изгибе (1, 2, 3), при сжатии (5, 6, 7)) древесины, пропитанной Эмульсией 252

Так как при модификации ДВП и ДСП мономерами были получены аналогичные закономер-

ности (рис. 3), что и для древесины, следовательно, режим их модификации был аналогичен режиму для модификации древесины.

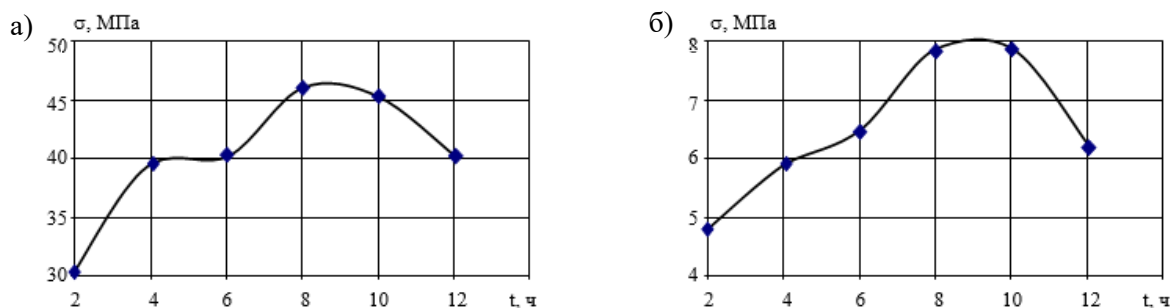


Рис. 3. Влияние длительности термообработки при 80 °С на прочность модифицированного Акратам AS04 композита: а) – ДВП, б) – ДСП

На основе результатов, полученных ранее для древесины, в качестве модификаторов для ламината были выбраны следующие жидкие мономеры: эмукрил М, акратам AS01 и AS02 и морозостойкий акратам AS01М.

В табл. 2, на примере эмукрила, представлены данные по взаимосвязи длительности пропитки мономерами и свойств материала. Наиболее существенный прирост массы ламината

наблюдается в первые 7 дней пропитки, далее процесс замедлялся, но полностью не прекращался. При этом уже на 3 день замачивания в мономере было отмечено существенное снижение прочности материала и рост деформации, предшествующей его разрушению (табл. 2). Такое поведение материала было вызвано пластифицирующим действием самого модификатора в жидком состоянии.

Таблица 2

Влияние эмукрила М на пророст массы и прочность ламината

Время выдержки в эмукриле М	Относительное увеличение массы, %	Набухание образцов, %	Прочность при поперечном изгибе, МПа
0 ч	–	–	36,00
1 ч	3,19	0,005	37,48
72 ч (3 дня)	31,50	–	13,59
168 ч (1 неделя)	51,68	33,620	10,65

Для перехода модификатора в твердое состояние и образования жесткого каркаса внутри материала была проведена термообработка при

температуре 80 °С. Температура прогрева была выбрана исходя из ранее полученных результатов при исследовании древесины [13].

Таблица 3

Влияние продолжительности термообработки при +80 °С модифицированного ламината Kronospan 31' на его прочность [14]

Модификатор	Прочность при поперечном изгибе, МПа, при продолжительности термообработки					
	2 ч	4 ч	6 ч	8 ч	10 ч	17,5 ч
Эмукрил М	24,24	25,37	26,19	–	24,51	24,20
Акратам AS01М	–	28,64	29,94	32,54	32,23	–

При термообработке происходит сшивка модификатора с исходным материалом. Уже через 2 ч прочность ламината, пропитанного мономером, увеличивается в 2 раза. При этом наилучшие результаты были достигнуты при его термообработке в течение 6–8 ч. Однако в отличие от древесины модифицированный ламинат имел более низкую прочность по сравнению с исходным. Так прочность ламината, модифицированного эмукрилом М составила – 73 % от первоначальной, а акратамом AS01М – 91 % (табл. 3). Такая потеря прочности для материала не существенна, т.к. в процессе эксплуатации его ресурс полностью не вырабатывается. Выход из строя ламината часто

происходит от действия воды, поэтому на дальнейшем этапе исследований было рассмотрено влияние модификации на изменение гидрофизических свойств (рис. 4).

Анализ полученных результатов показал, что при длительном воздействии воды снижение величины водопоглощения и набухания ламината проявлялось уже на этапе обработки образцов жидким мономером. При этом наилучшие результаты получены при использовании различных видов акратама (рис. 4). Ламинат, пропитанный ими, на 12 % меньше набухал по сравнению с водостойким ламинатом Tarkett 32'. Дополни-

тельная термообработка пропитанных мономером образцов в течение 4–10 ч, способствовала еще большему снижению показателей водопо-

глощения и набухания. Однако, при термообработке свыше 10 ч наблюдалось нарушение структуры полимера, что приводило к росту водопоглощения модифицированного ламината.

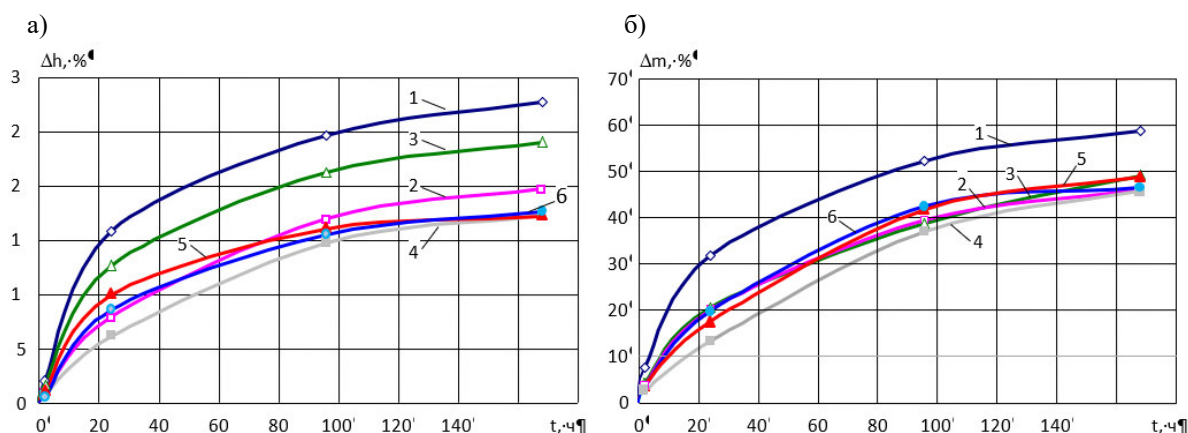


Рис. 4. Влияние модификации ламината Kronostar 31' на его

а) – набухание, б) – водопоглощение:

1 – не модифицированный ламинат; 2 – водостойкий ламинат Tarkett 32';

3 – модифицированный Эмукрилом М; 4 – Акратамом AS01М; 5 – Акратамом AS01; 6 – Акратамом AS02

Помимо набухания немаловажным является сохранение материалом своих механических свойств после воздействия влаги или воды, т.е. водостойкость. Поэтому в работе на примере ламината, модифицированного акратамом AS01М,

который показал наилучшие результаты по стойкости к процессам водопоглощения и набухания, был определен коэффициент водостойкости (табл. 4).

Таблица 4

Коэффициент водостойкости ламината после его модификации акратамом AS01М

Режим модификации: пропитка, ч/термообработка, ч	Коэффициент водостойкости при продолжительности замачивания в воде	
	1 ч	18 ч
72/6	1	0,92
72/8	1	0,84

Из полученных данных (табл. 4) видно, что использование модификаторов может обеспечить повышения коэффициента водостойкости до уровня 0,92, что соответствует категории водостойких материалов. При этом режим более длительной термообработки – 8 ч уступает по данному показателю 6 ч термообработке.

Так как в процессе эксплуатации выход из строя материала происходит именно под действием воды, то и оптимальный режим модификации ламината был выбран исходя из максимального повышения его гидрофизических свойств. В зависимости от вида модификатора он имеет следующие параметры:

– пропитка в течении 3 дней для эмукрила М, акратама AS01 М (при использовании акратамов AS01, AS02 продолжительность пропитки стоит увеличить до 14 дней);

– термообработка при 80°C в течение 6 ч.

3.2. Влияние модификации на долговечность древесных пластиков. Наибольший интерес представляет влияние модификации на долговеч-

ность древесных материалов, т.е. продолжительность их работы в условиях длительного воздействия температуры и нагрузки. Далее этот вопрос был рассмотрен более подробно.

На рис. 5 и табл. 5 представлены данные по долговечности модифицированных древесных материалов.

Из табл. 5 видно, что при использовании эмукрила С с последующей его термообработкой в течении 6 ч происходит снижение долговечности материала. Это связано с тем, что полной полимеризации модификатора еще не произошло и модификатор оказывает пластифицирующее действие внутри материала. При тех же параметрах эмукрил М показывает более лучшие результаты по прочности и долговечности. При увеличении продолжительности термообработки до 10 ч процесс полимеризации завершается, и мы видим увеличение долговечности древесины, но при этом материал станет и более чувствительным к повышенным температурам, что связано с низкой теплостойкостью и термопластичностью по-

лимеров. Для древесины, модифицированной керосином, характерно кратковременное повышение долговечности, однако, со временем керосин

испаряется и древесина постепенно в течении 0,5-1 месяца приобретает первоначальные прочностные свойства.

Таблица 5

Влияние модификации на долговечность и предельную прочность при разрушении поперечным изгибом

Вид модификатора	Продолжительность термообработки, ч	Предельная прочность, МПа	Долговечность при напряжении, с			
			60 МПа	70 МПа	80 МПа	100 МПа
Натуральная древесина	—	108	$10^{10}/>100$ лет	$10^8/3$ года	$10^6/0,5$ мес	$10^2/-$
Эмукрил С	6	93	$10^{3,2}/-$	$10^2/-$	$10^{1,1}/-$	—
Эмукрил С	10	108	>100 лет	>100 лет	$10^{10,5}/>100$ лет	$10^{3,5}/-$
Эмукрил М	6	96,5	$10^{5,9}/1$ день	$10^4/-$	$10^{2,8}/-$	—
Керосин	—	115	$10^{10}/>100$ лет	$10^8/3$ года	$10^6/0,5$ мес	$10^{2,5}/-$

При комплексном учете 3 факторов (времени, температуры и нагрузки) были получены зависимости $\lg t - \sigma$ (рис. 5), которые изменяются в зависимости от структуры материала. Для натуральной древесины зависимость имеет вид обратного пучка [13], что связано с ее ориентацией за счет волокнистого строения. При ее модификации полимерами происходит изменение структуры, т.к. внутри материала образуется дополнительный прочный каркас. В результате анизотропность структуры снижается, и происходит

изменение вида зависимости, которая принимает вид прямого пучка. Такая же картина наблюдается и при использовании эмукрила М. При использовании более слабых мономеров, таких как эмульсия 252, дополнительные связи, образующиеся внутри материала, будут слабыми. Такие связи не включаются в работу модифицированной древесины и зависимость $\lg t - \sigma$ будет иметь вид параллельных прямых (рис. 5, г).

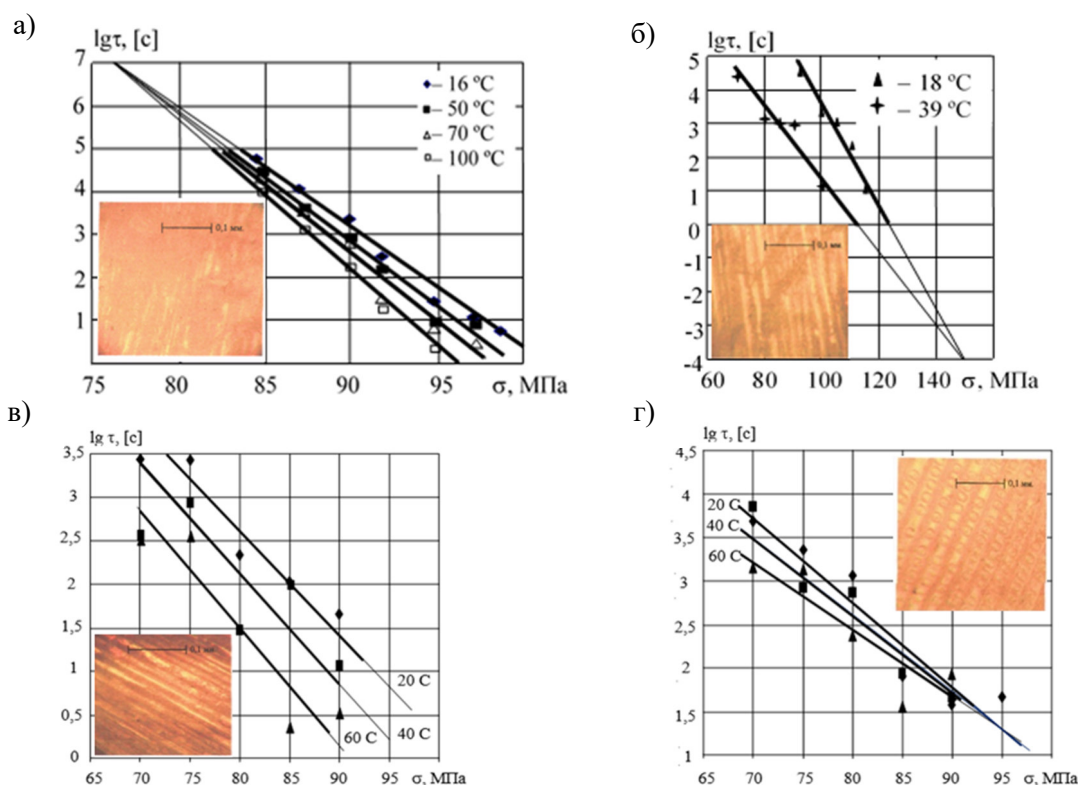


Рис. 5. Зависимости долговечности от прочности и температуры с микрофотографиями структур для: а) чистой древесины, б) древесины, пропитанной керосином,

в) древесины, модифицированной Эмульсией 252, г) древесины, модифицированной эмукрилом М

При пропитке древесины керосином структура становится более однородной за счет исключения воздуха, в результате чего зависимость

принимает вид прямого пучка. Структурные изменения можно увидеть на фотографиях, сделанных с помощью микроскопа.

Как уже говорилось выше, модификация древесины приводит к изменению ее структуры и, как следствие, меняются величины большинства констант (табл. 6) [14]. Самая маленькая величина энергии активации характерна для древесины, модифицированной эмульсией 252 или эмукрилом М. Такой уровень константы не характерен ни для разрушения целлюлозных волокон, ни для древесных пластиков. Следовательно, в данных случаях процесс разрушения будет возникать в каркасе, образованном модификатором, а не в древесных волокнах. Вид полимера также будет влиять на величины кон-

стант, отвечающих за разрушение: энергию активации и предэкспоненту. Изменение величины 2-ой константы связано с тем, что при модификации разными полимерами в древесине образуются разные по величине кинетические единицы. Наиболее крупные сегменты возникают при использовании в качестве модификатора эмульсией 252, а самые маленькие – керосина. Каждое вещество имеет свою температуру разложения, что отражается в изменении константы T_m . То, что величина данной константы близка именно температуре разложения полимеров, подтверждает факт зарождения процессов разрушения именно в модификаторе, а не древесине.

Таблица 6

Влияние модификации на величины констант, полученных при разрушении поперечным изгибом [14]

Вид модификатора	$U_0 (U, U_0^*),$ кДж/моль	$T_m (T_m^*),$ К	$\tau_m (\tau^*, \tau_m^*),$ с	$\gamma (\gamma^*),$ кДж/ (моль×МПа)	$\beta,$ 1/МПа
Натуральная древесина	-131	160	10^7	-1,7	—
Эмукрил М	87,5	556	$10^{1,4}$	0,94	—
Эмульсия 252	39,66	—	$10^{12,5}$	—	0,14
Керосин	448	408	10^{-4}	3,05	—

Пример зависимостей долговечности от прочности для древесных пластиков различной

структуры представлен на рис. 6–7. Следует отметить, что для исходных (без модификации) ламината и ДСП она имела вид прямого пучка [10].

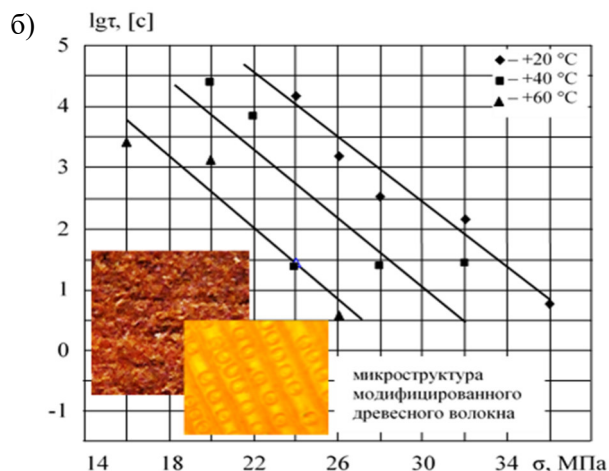
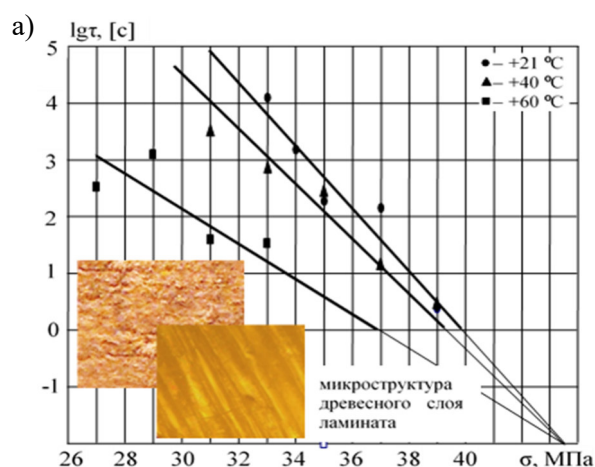


Рис. 6. Зависимость долговечности от прочности и температуры с макро- и микрофотографиями структур ламината а) – до его модификации, б) – после его модификации акратамом AS01M

При модификации ламината акратамом AS01M также, как и для древесины наблюдалось изменение вида зависимости (рис. 6) – превращение классической зависимости в виде прямого пучка в параллельные прямые. Следовательно, при полимеризации акратама внутри ламината происходит образование дополнительных связей, но они слабее химических. Кроме того, наличие слабых дополнительных связей приводит к снижению долговечности ламината, несмотря на более высокий предел прочности, а также повышается чувствительность материала к высоким температурам.

В табл. 7 для древесных пластиков и модифицированного ламината представлены величины основных констант, входящие в уравнение для долговечности.

Изменение вида зависимости напрямую связано с величиной самих констант, так после модификации ламината энергия активации сильно снижается и приближается к энергии активации ДСП с мелкой стружкой. Из этого следует, что определяющим компонентом при разрушении материала будет связующее, а не древесный наполнитель.

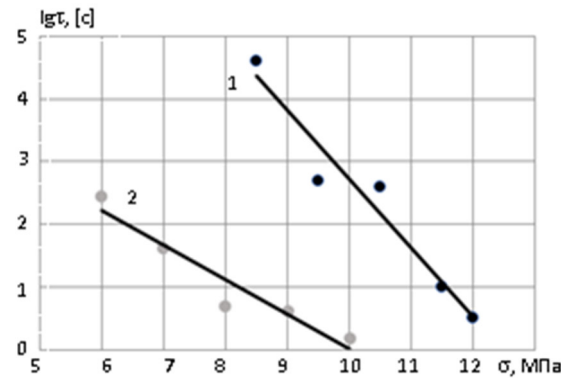


Рис. 7. Зависимость долговечности (при 20°C) от прочности для ДСП, плотностью 650 кг/м³, исходного (1) и модифицированного акратамом AS04 (2)

Таблица 7

Величины константы древесных композитов до и после модификации полимерами

Материал	Интервал температур, °C	$\tau_m (\tau^*, \tau_m^*),$ с	$T_m (T_m^*),$ К	$\beta, 1/\text{МПа}$	$\gamma (\gamma^*),$ кДж/(МПа·моль)	$U_0 (U, U_0^*),$ кДж/моль
Ламинат Kronostar 31	<+40	10 ⁻²	552	–	7,17	299
	>+40	10 ⁻²	377	–	17,50	743
Модифицированный акратамом ламинат	–	10 ^{-2,3}	–	0,26	–	68,85
ДСП с мелкой стружкой [13]	–	10 ^{9,4}	–	2,25	–	70,00

Получение зависимостей долговечности от прочности очень трудоемкий процесс, поэтому для прогнозирования долговечности модифицированных древесных материалов в широком диапазоне нагрузок и температур были получены поправки к долговечности исходных материалов. Их величины указаны в табл. 8.

При этом уравнения для долговечности примут следующий вид

для прямого пучка

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \gamma \sigma}{R} (T^{-1} - T_m^{-1}) \right] + \Delta, \quad (4)$$

для обратного пучка

$$\tau = \tau_m^* \exp \frac{U_0^* - \gamma^* \sigma}{RT} \left(\frac{T_m^*}{T} - 1 \right) + \Delta, \quad (5)$$

где Δ - величина поправки, учитывающая режим модификации.

Из табл. 8 видно, что для каждого модификатора поправка описывается своей функцией. Продолжительность теплообработки также приводит к изменению поправок, т.к. на протяжении всего этапа в модификаторе будет происходить изменение структуры.

Таблица 8

Поправки к долговечности при модифицировании материалов

Материал	Модификатор	Продолжительность термообработки, ч	Вид нагрузки	Поправка к долговечности
Древесина	Эмукрил С	6	Поперечный изгиб	10 ^{-0,0406σ+8,647}
		10	Поперечный изгиб	10 ^{0,232σ-22,64}
			Пенетрация	10 ^{0,0487Н-4,6145}
	Эмукрил М	10	Поперечный изгиб	10 ^{-0,0435σ+7,2925}
	Эмульсия 252	10	Поперечный изгиб	10 ^{-0,0535σ+8,2425}
	Керосин	–	Пенетрация	10 ^{-1,76}
ДСП	Акратамом AS04	8	Поперечный изгиб	10 ^{0,312 σ□ + 0,44}

3.3. Влияние модификации на биостойкость и огнестойкость древесных пластиков. Далее были рассмотрены еще два важных показателя модифицированной древесины и древесных пластиков, такие как биостойкость и огнестойкость (табл. 9–12).

Анализ полученных результатов показал, что при использовании в качестве модификаторов эмукрила М и эмульсии 252 огнестойкость древесины не изменяется (табл. 9): потеря массы и длины образцов соответствует натуральной древесине, однако модификация приводит к резкому воспламенению образцов.

Таблица 9

Огнестойкость модифицированной древесины

Вид модификатора	Изменение массы, Δm , %	Изменение длины, ΔL , %
Без модификатора	-66,1	-1,76
Эмукрил М	-63,84	-1,63
Эмульсия 252	-65,17	-1,62
Керосин	-60,86	-0,96

Модифицированные ДВП теряют на 5 % меньше своей массы, в тоже время вес модифицированных образцов ДСП после воздействия огня уменьшился по сравнению с исходными на

10 % (табл. 10). Это показывает, что модификация ДСП неблагоприятно сказывается на их огнестойкости. Также, как и в случае с древесиной для обоих материалов характерно резкое воспламенение, что не желательно.

Таблица 10

Параметры огнестойкости древесных пластиков

Убыль массы в процессе горения	ДВП	ДВП после модификации акратамом AS04	ДСП	ДСП после модификации акратамом AS04
Δm , %	-66,87	-63,43	-64,79	-71,50

Низкая биостойкость древесных пластиков, как и любых других материалов определяется возникновением в них очагов гниения, т.е. их биологическое разложение дереворазрушающими грибами [8] (может происходить разложение целлюлозы, гемицеллюлозы и других полисахаридов, лигнина). В процессе гниения древесных материалов наблюдается их растрескивание, появление ямок, пустот различной формы и размеров. Они начинают крошиться, изменять свой цвет (появляется белая, светло-жёлтая или мра-

морная окраска, а также светло- или тёмно-бурая). Для протекания данного процесса необходимы следующие условия:

- содержание свободной воды в материале более 18–20 %;
- наличие воздуха, причем незначительное количество порядка 5–20 %.

Первый фактор можно предотвратить с помощью модификации, т.к., проникая в стенки клеток древесных частиц, он изолирует их от проникновения влаги.

Таблица 11

Влияние модификации на биостойкость древесины

Вид модификатора	Время появления, в сутках			
	пленки на поверхности воды	налета на образцах	гнили и грибка на образцах	осадка в воде
Натуральная древесина	5	9	20	30
Эмукрил М	15	30	32	45
Эмульсия 252	15	30	45	53
Керосин	20	45	45	60

В процессе нахождения образцов в воде происходили различные изменения. Спустя 24 часа после начала замачивания наблюдалось изменение цвета воды на светло-желтый. Спустя 5 дней на воде образовался толстый слой пленки с пузырьками воздуха, толщина которой постепенно уменьшалась. Цвет воды при этом поменялся на темно-коричневый. На 10 сутки пузырьки начали лопаться, пленка стала глянцевой, а часть образцов опустилась на дно, при этом на поверхности материала появился налет. Через 9–14 дней практически все образцы полностью погрузились в воду, и далее на их поверхности начала образовываться гниль. При ее разрастании на дне емкости с водой появился осадок. Фото процессов, протекающих с образцами представлено на рис.

8. На рис. 9 приведены фотографии микроструктуры поверхности пораженных участков, сделанные при 100-кратном увеличении.

Из табл. 11 видно, что модификация древесины позволила отсрочить в 2–3 раза, появления нежелательных процессов в виде образования налета, гнили и т.п. В частности, на натуральной древесине налет был идентифицирован на 9 сутки, а появление гнили – на 20 сутки. Для модифицированной же древесины данные процессы были зафиксированы на 20 и 45 сутки соответственно. В целом все модификаторы показали хороший результаты: однако, при этом наилучшие результаты были достигнуты при использовании керосина, а наихудшие – эмукрила М (таблица 11).

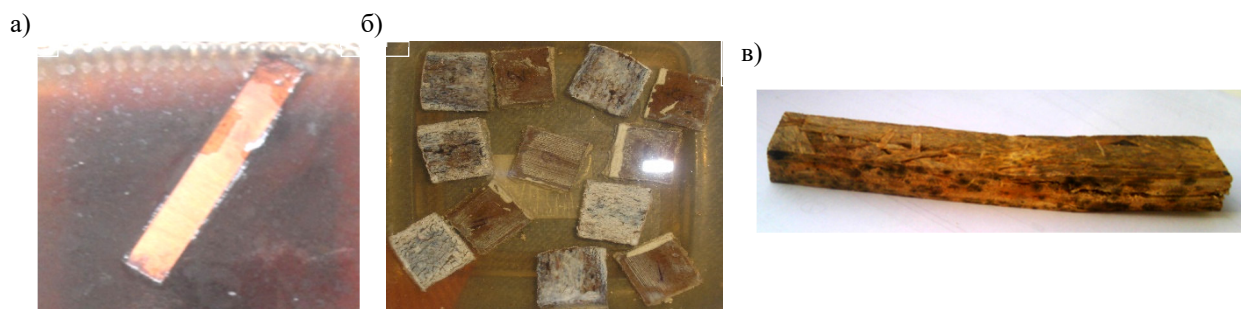


Рис. 8. Фото образцов на различной стадии гниения а) образование пленки в воде, б) образование налета на образцах ДВП и ДСП, в) образование плесневых грибов на образцах ДСП

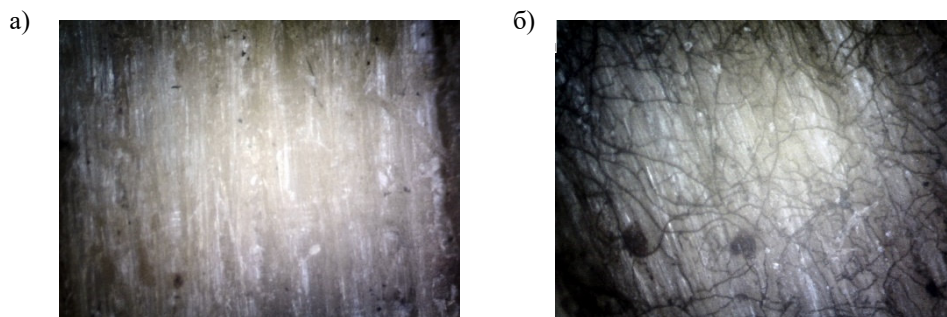


Рис. 9. Микрофотографии материала, а) не подвергшейся действию воды, б) пораженного плесневыми грибами

Для древесных плит в качестве модификатора был взят акратам AS04, выбор которого был

обусловлен хорошими результатами по повышению гидрофизических свойств композитов.

Таблица 12

Влияние модификации на биостойкость древесных плит

Материал	Наличие модификатора	Время появления, в сутках			
		пленки на поверхности воды	налета на образцах	гнили и грибов на образцах	осадка в воде
ДВП	-	6	9	19	12
	Акратам AS04	8	15	На 40 сутки гнили нет	17
ДСП	-	7	11	20	13
	Акратам AS04	6	10	На 40 сутки гнили нет	18

Из табл. 12 видно, что модификация древесных плит также позволяет повысить их биостойкость. Несмотря на то, что процесс образования налета на образцах и осадка в воде замедляется всего лишь на несколько дней, образование гнили в модифицированном материале зафиксировано не было.

4. Выводы. Оптимальный режим модификации древесины и древесных композитов заключается в пропитке их мономерами в течение 3 суток и дальнейшей термообработкой при 80°C в течение 8–10 ч. Для ламината термообработка сокращается до 6 ч. При использовании керосина продолжительность пропитка увеличивается до 7 суток, а этап термообработки отсутствует.

Модификация древесины и древесных пластиков влияет практически на все свойства. Если рассматривать механические показатели, то наилучшие результаты в качестве модификаторов показали керосин, эмукрил С, акратам AS 01. При этом, для повышения гидрофизических

свойств древесных материалов выгоднее всего использовать в качестве модификаторов различные виды акратам. Модификация древесины и материалов на ее основе позволяет отсрочить появления нежелательных процессов в виде образования налета, гнили и т.п. При этом процесс замедляется в 2–3 раза. Огнестойкость модифицированных древесных пластиков не изменяется, но при этом приводит к резкому воспламенению образцов.

Также необходимо отметить, что на долговечность большое влияние оказывает не только вид модификатора, но и температуры эксплуатации и нагрузки. Например, хорошее повышение долговечности древесины наблюдается после обработки эмукрилами с последующей их термообработкой в течение 10 ч. Величину долговечности для модифицированных материалов можно рассчитать с помощью уравнений (1)–(5), используя константы приведенные в табл. 6 и 7.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник для студентов высших учебных заведений. под общ. ред. Микульский В.Г. Сахаров Г.П. М.: Изд-во АСВ, 2011. 519 с.
2. Вольфсон С.И., Файзуллин И.З., Мусин И.Н., Грачев А.Н., Пушкин С.А. Физико-механические и реологические характеристики древесно-полимерных композитов на основе термически и механически модифицированного наполнителя // Пластические массы. 2015. № 5–6. С. 39–43.
3. Парамонова О.А., Микитченко И.И., Краснощекоев А.А., Будников И.В. Модифицированная древесина – материал будущего // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: сб. науч. тр. Международной научно-практической конференции. Пенза, 2002. С. 277–279.
4. Хрулев В.М. Модифицированная древесина в строительстве. М.: Стройиздат, 1986. 112 с.
5. Кузнецова И.Н., Громов С.А. Технология и свойства модифицированной древесины для малоэтажного строительства // Вестник Югорского государственного университета. 2023. № 1 (68). С. 104–110. DOI: 10.18822/byusu202301104-110 EDN: MBZWXD
6. Машкин Н.А. Анализ ползучести модифицированной древесины // Инновации в жизнь. 2015. № 1(12). С. 41–46.
7. Крашенинникова Н.Н. Эффективные средства био- и огнезащиты древесины // Строительные материалы. 2003. № 5. С. 44–45.
8. Батин М.О., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Кудряшов А.Ю. Повышение биологической стойкости полов из модифицированной древесины введением наноразмерных добавок // Строительные материалы. 2018. № 1–2. С. 52–57.
9. Ратнер С.Б., Ярцев В.П. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? М.: Химия, 1992. 320 с.
10. Yartsev V.P., Kiseleva O.A. Prediction of the Building Materials Performance in Products and Structures // Advanced Materials & Technologies. Tambov: Tambov State Technical University. 2019. No. 4 (16). Pp. 35–52. DOI: 10.17277/amt.2019.04.pp.035-051 EDN: RRBYWI
11. Мамонтов С.А., Мамонтов А.А. Математические модели поведения термофлуктуационных констант при старении древесных композитов // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений. Тезисы докладов VIII-го международного симпозиума. Тамбов, 2023. С. 396–398.
12. Богословский В.Н., Райтман В.М., Парфентьева Н.А. О возможности прогноза долговечности строительных материалов и конструкций на основе кинетического подхода // Известия вузов. 1982. № 9. С. 62–68.
13. Ярцев В.П., Киселева О.А. Строительные материалы на основе древесины. Прогнозирование и повышение эксплуатационных параметров: прочности, долговечности и термостойкости // LAP LAMBERT Academic Publishing:Chisinau-2068. Republic of Moldova Europe, 2021. 129 с.
14. Yartsev V.P., Kiseleva O.A. Effect of Impregnation Modification on the Operational Properties of Wood Materials // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2024. № 3(63). Pp. 41–54. DOI: 10.36622/2542-0526.2024.63.3.004 EDN: GLKCUJ
15. Ярцев В.П., Киселева О.А. Влияние модификации пропиткой на долговечность древесины при неблагоприятных внешних воздействиях // Строительные материалы XI века. 2009. № 3. С. 22–23.

Информация об авторах

Ярцев Виктор Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений». E-mail: jarcev21@gambler.ru. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет». Россия, 392032, Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корпус «Д».

Киселева Олеся Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений». E-mail: kiseleva_oa@gambler.ru. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет». Россия, 392032, Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корпус «Д».

Монастырев Павел Владиславович, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений». E-mail: monastirev68@mail.ru. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет». Россия, 392032, Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корпус «Е».

Езерский Валерий Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Архитектура и градостроительство». E-mail: wiz75micz@rambler.ru. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет». Россия, 392032, Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корпус «Е».

Поступила 24.02.2025 г.

© Ярцев В.П., Киселева О.А., Монастырев П.В., Езерский В.А., 2025

Yartsev V.P., Kiseleva O.A., *Monastyrev P.V., Ezersky V.A.

Tambovsky State Technical University

**E-mail monastyrev68@mail.ru*

THE EFFECT OF MODIFICATION ON THE DURABILITY OF WOOD AND WOOD PLASTICS

Abstract. *The following materials were chosen as the object of research: wood, laminate, chipboard and fiberboard, as they have been widely used in construction. Wood materials are distinguished by a valuable combination of properties such as high strength and low thermal conductivity, while possessing low water resistance and bio-resistance.*

This article discusses one of the ways to solve this problem – the modification of wood materials with liquid monomers: C and M emucriles, emulsion 252, acrate AS02. The effect of modifiers on properties such as strength, water absorption, swelling, water resistance, fire resistance and biostability of materials was revealed. However, during operation, any product and structure is exposed to several factors simultaneously for a long time: temperature, load, humidity, aging, etc. Therefore, during the research, special attention was paid to the study of the durability of modified wood materials of various structures. To identify patterns of long-term operation of materials, comprehensive tests were carried out, taking into account the simultaneous effect of load, time and temperature of operation. The issue of changing the structure of wood plastics during their modification was also raised.

The presented results will make it possible to predict the operability of modified wood materials under prolonged exposure to operational factors, i.e. temperature and load. Based on the results obtained, the optimal modification mode was established (impregnation with monomers for 3 days and heat treatment at 80 °C for wood and chipboard for 8-10 hours, for laminate – 6 hours). To increase the hydrophysical properties of wood materials, ac-ratam and emucryl M. The modification makes it possible to delay the appearance of undesirable processes in the form of plaque and rot by two to three times.

Keywords: *wood, wood plastics, modification, heat treatment, durability, strength, hydrophysical properties*

REFERENCES

1. Materials science. Technology of structural materials [Materialovedenie. Tekhnologiya konstruktsionnykh materialov]: a textbook for students of higher educational institutions. under the general editorship. Mikulskiy V.G. Sakharov G.P. M.: Publishing house of the DIA, 2011. 519 p. (rus)
2. Wolfson S.I., Fayzullin I.Z., Musin I.N., Grachev A.N., Pushkin S.A. Physico-mechanical and rheological characteristics of wood-polymer composites based on thermally and mechanically modified filler. [Fiziko-mekhanicheskie i reologicheskie harakteristiki drevesno-polimernykh kompozitov na osnove termicheski i mekhanicheski modifitsirovannogo napolnitelya]. Plastic masses. 2015. No. 5–6. Pp. 39–43. (rus)
3. Paramonova O.A., Mikitchenko I.I., Krasnoshchekov A.A., Budnikov I.V. Modified wood is the material of the future. [Modifitsirovannaya drevesina – material budushchego]. Composite building materials. Theory and practice: collection of

scientific papers of the International Scientific and Practical Conference. Penza, 2002. Pp. 277–279. (rus)

4. Khrulev V.M. Modified wood in construction. [Modifitsirovannaya drevesina v stroitel'stve]. Moscow: Stroyizdat, 1986. 112 p. (rus)

5. Kuznetsova I.N., Gromov S.A. Technology and properties of modified wood for low-floor construction. [Tekhnologiya i svoystva modifitsirovannoy drevesiny dlya maloetazhnogo stroitel'stva]. Bulletin of Ugra State University. 2023. No. 1(68). Pp. 104–110. DOI: 10.17277/amt.2019.04.pp.035-051 EDN: RRBYWI

11. Mamontov S.A., Mamontov A.A. Mathematical models of the behavior of thermal fluctuation constants during aging of wood composites. [Matematicheskie modeli povedeniya termofluktuatsionnykh konstant pri starenii drevesnykh kompozitov]. Actual problems of computer modeling of structures and structures. Abstracts of the VIII-

th International Symposium. Tambov, 2023. Pp. 396–398. (rus)

12. Bogoslovsky V.N., Reitman V.M., Parfent'eva N.A. On the possibility of predicting the durability of building materials and structures based on the kinetic approach. [O vozmozhnosti prognoza dolgovechnosti stroitel'nykh materialov i konstrukcij na osnove kineticheskogo podhoda]. Izvestiya vuzov. Construction. Novosibirsk. 1982. No. 9. Pp. 62–68.

13. Yartsev V.P., Kiseleva O.A. Stroitel'nye materialy na osnove drevesiny. Prognozirovanie i povyshenie ekspluatatsionnykh parametrov: prochnosti, dolgovechnosti i termostojkosti. [Stroitel'nye materialy na osnove drevesiny. Prognozirovanie i povyshenie ekspluatatsionnykh parametrov: prochnosti, dolgovechnosti i ter-

mostojkosti]. Monografiya. LAP LAMBERT Academic Publishing: Chisinau-2068. Republic of Moldova Europe. 2021. 129 p. (rus)

14. Yartsev V.P., Kiseleva O.A. Effect of Impregnation Modification on the Operational Properties of Wood Materials. Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2024. No. 3(63). Pp. 41–54. DOI: 10.36622/2542-0526.2024.63.3.004 EDN: GLKCUJ

15. Yartsev V.P., Kiseleva O.A. The effect of impregnation modification on the durability of wood under unfavorable external influences. [Vliyanie modifikatsii propitkoj na dolgovechnost' drevesiny pri neblagopriyatnykh vneshnih vozdeystviyah]. Building materials of the XI century. 2009. No. 3. Pp. 22–23. (rus)

Information about the authors

Yartsev, Viktor P. Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Constructions of buildings and structures». E-mail: jarcev21@rambler.ru. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State Technical University». Russia, 392032, Tambov, Michurinskaya str., 112, building «D».

Kiseleva, Olesya A. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Constructions of buildings and structures». E-mail: kiseleva_oa@rambler.ru. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State Technical University». Russia, 392032, Tambov, Michurinskaya str., 112, building «D».

Monastyrev, Pavel V. Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Structures of Buildings and Structures. E-mail: monastyrev68@mail.ru. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State Technical University». Russia, 392032, Tambov, Michurinskaya str., 112, building «E».

Yezerzsky, Valery A. Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Architecture and Urban Planning. E-mail: wiz75micz@rambler.ru. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State Technical University». Russia, 392032, Tambov, Michurinskaya str., 112, building «E».

Received 24.02.2025

Для цитирования:

Ярцев В.П., Киселева О.А., Монастырев П.В., Езерский В.А. Влияние модификации на долговечность древесины и древесных пластиков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 6. С. 19–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-6-19-31

For citation:

Yartsev V.P., Kiseleva O.A., Monastyrev P.V., Ezersky V.A. The effect of modification on the durability of wood and wood plastics. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 6. Pp. 19–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-6-19-31