

## Исследование свойств древесно-полимерных композитов на основе ацетилированного древесного наполнителя

А.А. Прокопьев<sup>а</sup>, Р.В. Салимгараева<sup>б</sup>, Р.Р. Сафин<sup>с</sup>

Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
ул. Карла Маркса, 68, Казань, Республика Татарстан

<sup>а</sup> prokopev.anatolij@mail.ru, <sup>б</sup> reginka.danilova@mail.ru, <sup>с</sup> cfaby@mail.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0009-0008-8106-364X>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6389-414X>, <sup>с</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0226-4232>

Статья поступила 28.04.2023, принята 05.05.2023

*В последнее время потребление древесно-полимерных композитов в сфере строительства и благоустройства территорий неуклонно растет, однако их использование несколько ограничивается ввиду малого срока эксплуатации. Это вызвано прежде всего низким показателем морозостойкости, подверженностью появлению микротрещин из-за давления набухания в композитах и последующего разрушения материала. Древесно-полимерные композиты, изготовленные из ацетилированной древесной муки, помогают решить эту проблему. Ацетилирование древесной муки березы проводилось с целью введения ацетильных групп в состав древесины путем изменения свободных гидроксильных групп. Благодаря этому улучшаются такие свойства композита, как размерная стабильность, гидрофобность и биостойкость. Древесную муку выдерживали в ледяной уксусной кислоте в течение 72 ч, после чего высушивали в вакуумно-сушильном шкафу с целью удаления остатков продукта реакции. В качестве полимерного связующего использовался полиэтилен высокого давления. Изготовили по 5 составов с содержанием древесного наполнителя 20, 30, 40, 50 и 60 % как с обычной, так и с ацетилированной древесной мукой. Показано, что значение предела текучести расплава для образцов с ацетилированной древесной мукой получилось выше. Однако наибольшая разница в значениях наблюдалась для составов с 20- и 60%-ным содержанием древесного наполнителя ( $\Delta 27,5$  % и  $\Delta 77,1$  % соответственно), в то же время, для состава с 50%-ным содержанием древесного наполнителя разница была незначительной ( $\Delta 8,3$  %). Показатели водопоглощения для композитов с ацетилированной древесной мукой получились в 2 раза ниже, чем для контрольных образцов — такая зависимость наблюдалась практически для всех составов. Показатели прочности на изгиб лучше всего получились для контрольного и модифицированного состава с 60%-ным содержанием древесной муки. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности ацетилирования как способа модификации древесного наполнителя в производстве композиционных материалов с целью улучшения эксплуатационных свойств.*

**Ключевые слова:** ацетилирование; береза; композит; предел текучести расплава; водопоглощение; прочность на изгиб.

## Investigation of the properties of wood-polymer composites based on acetylated wood filler

A.A. Prokopiev<sup>a</sup>, R.V. Salimgaraeva<sup>b</sup>, R.R. Safin<sup>c</sup>

Kazan National Research Technological University; 68, Karl Marx St., Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>a</sup> prokopev.anatolij@mail.ru, <sup>b</sup> reginka.danilova@mail.ru, <sup>c</sup> cfaby@mail.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0008-8106-364X>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6389-414X>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0226-4232>

Received 28.04.2023, accepted 05.05.2023

*Recently, the consumption of wood-polymer composites in the field of construction and landscaping has been steadily growing, but their use is somewhat limited due to the short service life. This is caused primarily by the low frost resistance index, the susceptibility to microcracks due to swelling pressure in composites and subsequent destruction of the material. Wood-polymer composites made from acetylated wood flour help to solve this problem. Acetylation of birch wood flour is carried out in order to introduce acetyl groups into the composition of wood by changing free hydroxyl groups. Due to this, such properties of the composite as dimensional stability, hydrophobicity and biostability are improved. The wood flour is kept in glacial acetic acid for 72 hours, after which it is dried in a vacuum drying cabinet in order to remove the residues of the reaction product. High-pressure polyethylene (LDPE) is used as a polymer binder. 5 compositions containing wood filler are made 20%, 30%, 40%, 50% and 60% with both regular and acetylated wood flour. It is shown that the value of the melt yield strength (PTR) for samples with acetylated wood flour turns out to be higher. However, the greatest difference in values is observed for compositions with 20% and 60% wood filler content ( $\Delta 27.5\%$  and  $\Delta 77.1\%$ , respectively), while for compositions with 50% wood filler content, the difference is insignificant ( $\Delta 8.3\%$ ). Water absorption indicators for composites with acetylated wood flour turn out to be 2 times lower than for control samples – this dependence is observed for almost all compositions. The bending strength indicators are best obtained for the control and modified composition with 60% wood flour content. The results obtained indicate the effectiveness of acetylation as a method of modifying wood filler in the production of composite materials in order to improve operational properties.*

**Keywords:** acetylation; birch; composite; melt yield strength; water absorption; bending strength.

**Введение.** С давних времен древесина играла заметную роль. Она используется во многих сферах жизни. Технические свойства древесины подтвердили ее пригодность в качестве конструкционного материала: прочностные свойства и естественная долговечность некоторых пород древесины обеспечивала людей материалом, который выполнял множество функций. Однако древесина также обладает свойствами, которые, применительно к конкретным областям, можно рассматривать как недостатки. В различных конструкциях и зданиях взаимодействие материалов из древесины и влаги почти всегда оказывает решающее влияние на свойства композитов из древесины. В результате наиболее существенной проблемой конструкционной древесины является недостаточная стабильность ее размеров. Кроме того, древесина анизотропна (различные свойства во всех трех направлениях роста дерева), и ей не хватает последовательных, предсказуемых, воспроизводимых, непрерывных и однородных свойств. В этом контексте химическая модификация помогает преодолеть эти недостатки в использовании древесины и превратить ее из непредсказуемого материала в высококачественные изделия из древесины с желаемыми и предсказуемыми техническими характеристиками [1; 2].

С целью повышения качества композиционных материалов применяют различные способы модификации древесного наполнителя. Для уменьшения водопоглощения и придания стабильности размерам можно использовать следующие методы: термомодифицирование, ацелирование, фурфулирование, пропитка различными составами в присутствии катализаторов и т. д. Каждый из перечисленных способов зарекомендовал себя в качестве эффективного, однако имеются различия по применяемым технологиям обработки и стоимости конечной продукции [3–17].

Также хотелось бы обратить внимание на большое количество зарубежных работ, посвященных различным способам модификации древесины.

С целью улучшения физико-механических свойств была проведена оценка влияния [18] термомеханической модификации на некоторые физические свойства лущеного шпона амескля (*Trattinnickia burseraefolia*). Шпон обрабатывали на гидравлическом прессе при 140 и 180 °С 1 и 2 мин при давлении 2·7 Н·мм<sup>2</sup>. Оценивали кажущуюся плотность, а также степень сжатия, потерю веса, равновесную влажность, набухание по толщине и водопоглощение. Результаты показали, что кажущаяся плотность и коэффициент сжатия увеличились после обработки. Равновесные значения влагосодержания были ниже в образцах, обработанных при 180 °С. Размерная стабильность не была улучшена из-за снятия сжимающих напряжений. Поверхность шпона была изменена, а ее шероховатость и смачиваемость значительно снижены.

В работе [19] с целью оценки пригодности облучения ультрафиолетовым светом в качестве метода предварительной обработки поверхности для активации образцов двух пород древесины — ели (*Picea abies Karst*) и тика (*Tectona grandis*) подвергались воздействию ультрафиолетового света в окружающей среде. Для характеристики этих поверхностей использовались измерения краевого угла и сканирующая электронная микроскопия. После определенного периода

воздействия УФ-излучения смачиваемость и свободная энергия поверхности ( $\gamma S$ ), особенно основной компонент  $\gamma S$ , радиальных и тангенциальных поверхностей древесины обоих видов значительно увеличились. Был сделан вывод, что УФ-облучение представляет собой процесс абляции, обеспечивающий модификацию (очистку) поверхности древесины и раскрытие пор в древесине.

*Stig Lande* и соавторы [20] представили в своем исследовании свойства гниения фурфурилированной древесины. Лабораторные методы и полевые испытания были проведены в условиях поражения грибами, термитами и морскими мотыльками. Также представлены испытания на физико-механические свойства. Свойства фурфурилированной древесины зависят от удерживания привитых/полимеризованных поли-ФА в древесине. При высоких уровнях модификации (высокое удержание поли-ФА) достигается улучшение широкого спектра свойств: исключительное увеличение твердости, исключительная устойчивость к микробному разложению и нападению насекомых, увеличение модуля разрыва и модуля упругости, а также высокая размерная стабильность. На более низких уровнях модификации также происходят улучшения свойств. Примечательны устойчивость к микробному разложению и нападению насекомых, а также относительно высокая стабильность размеров.

По мнению авторов [21], снижение гигроскопичности и улучшенная размерная стабильность ацелированной древесины зависят от этерификации доступных гемицеллюлоз в клеточной стенке, а также уменьшения водородных связей с водой. Ацелирование проводилось при 120 °С в течение 2 ч. Сделан вывод, что добиться абсолютной размерной стабильности древесины невозможно, так как молекула воды меньше ацетильной группы, поэтому вода может получить доступ к гидроксильным участкам, даже когда древесина полностью ацелирована.

Анализ российских и зарубежных исследований подтверждает актуальность химической обработки древесины с целью улучшения ее свойств. Одним из универсальных способов, позволяющих улучшить физико-механические свойства древесины, является ацелирование. *Цель исследования* — изучение воздействия ацелирования ледяной уксусной кислотой древесной муки на свойства композитов (предел текучести расплава, водопоглощение, прочность на изгиб).

**Объекты и методы исследования.** В качестве наполнителя использовали древесную муку из березы по ГОСТ 16361-87. Древесную муку обрабатывали в ледяной уксусной кислоте (ГОСТ 61-75) в течение 72 ч в нормальных условиях и сушили в вакуумно-сушильном шкафу *Memmert* 400 при 105 °С до постоянной массы с целью удаления остатков продуктов реакции и непрореагировавшей ледяной уксусной кислоты. В качестве полимерного связующего использовали полиэтилен высокого давления марки 10803-020 (ПВД) (ГОСТ 16337-2022).

Всего для испытаний было изготовлено 10 составов с содержанием древесного наполнителя по 20, 30, 40, 50 и 60 % (по массе) как с обычной, так и с ацелированной древесной мукой.

Смешение компонентов осуществлялось в камере смесительного оборудования *Brabender* (рис. 1) при температуре 140 °С и скорости вращения роторов 90 об./мин в течение 4 мин с последующим пропусканием полученной смеси через лабораторные вальцы UBL-6175-A с зазором 4 мм.



Рис. 1. Смеситель типа Brabender

Испытание образцов на определение значения предела текучести расплава (ПТР) проводилось согласно ГОСТ 11645-2021 и осуществлялось на пластометре автоматическом GT-7100 МВ (рис. 2) при температуре нагрева 240 °С.

Значение предельной текучести расплава для композитов определялось по формуле:

$$\text{ПТР} = m \times 600/t, \quad (1)$$

где ПТР — предел текучести расплава, г/10 мин;  $m$  — масса композита, г; 600 — коэффициент, используемый для преобразования значения ПТР;  $t$  — время обрезки.



Рис. 2. Пластометр автоматический GT-7100 МВ

С целью исследования свойств древесно-полимерных композитов на водопоглощение были получены стандартные образцы в виде полосок методом литья под давлением. Предварительно измельченный материал загружался в литьевую машину для пробоподготовки (рис. 3) при температуре 140 °С с давлением впрыска 8 бар.

Для испытаний на водопоглощение были отобраны образцы с гладкой ровной поверхностью без неровностей, сколов, вздутий и других видимых дефектов.

Значения водопоглощения для образцов композита определялись по формуле:

$$M = \frac{m_{\text{п.о.}} - m_{\text{д.о.}}}{m_{\text{д.о.}}} \times 100\%, \quad (2)$$

где  $m_{\text{п.о.}}$  — масса древесного шпона после обработки в ледяной уксусной кислоте;  $m_{\text{д.о.}}$  — масса древесного шпона после обработки в ледяной уксусной кислоте.

Для испытаний на прочность на изгиб были отобраны образцы без видимых повреждений. Испытания проводились на универсальной разрывной машине JLTC LDS-5L (рис. 4).

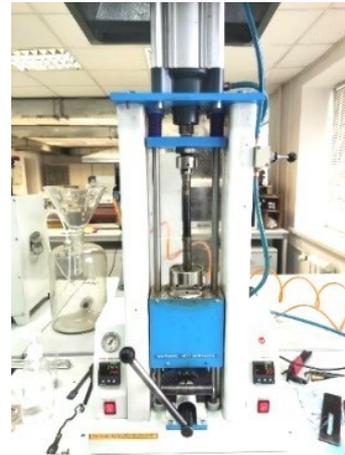


Рис. 3. Инжекционная литьевая машина для пробоподготовки



Рис. 4. Испытание образцов на изгиб

Ширина между опорами составляет 40 мм.

**Результаты исследования.** Значения предела текучести расплава для различных составов композита приведены в табл. 1 и на графике (рис. 4).

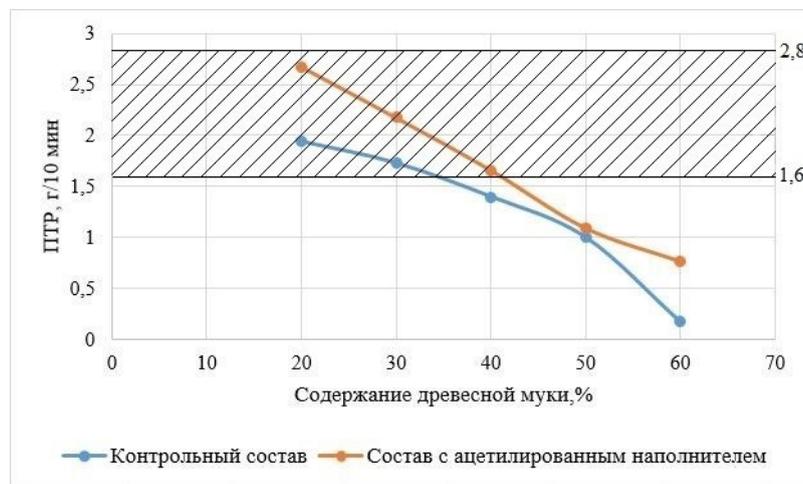
Было выявлено, что значение предела текучести расплава для образцов с ацелированной древесной мукой получилось выше. Для ПВД марки 10803-020 показатель ПТР варьируется от 1,6 до 2,8 г/10 мин. Полученный результат, отражаемый в значениях ПТР, при промышленной реализации позволяет использовать как литьевой, так и экструзионный способы производства композиционных материалов.

Наибольшая разница в значениях наблюдалась для составов с 20- и 60%-ным содержанием древесного

наполнителя, в то же время для состава с 50%-ным содержанием древесного наполнителя разница была не- существенной.

**Таблица 1.** Значения ПТР для различных составов композита

Контрольный состав					
Номер состава	1	2	3	4	5
Соотношение компонентов (ПВД:ДМ), %	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ПТР, $\text{с}/10 \text{ мин}$	1,9392	1,728	1,3992	1,0032	0,176
Состав с ацелированной древесной мукой					
Номер состава	1	2	3	4	5
Соотношение компонентов (ПВД:ДМ), %	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
ПТР, $\text{с}/10 \text{ мин}$	2,6748	2,1768	1,662	1,0944	0,768



**Рис. 5.** Определение значения предельной текучести расплава (ПТР)

**Таблица 2.** Значения водопоглощения (по массе, %) для различных составов композита

Контрольный состав					
Номер состава	1	2	3	4	5
Соотношение компонентов (ПВД:ДМ), %	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
Прирост массы, г:					
$m_1 \text{ сут}$	0	0,69	3,1	3,77	25,0
$m_2 \text{ сут}$	0	0,69	3,1	3,77	25,0
$m_3 \text{ сут}$	0	0,69	3,1	3,77	27,27
$m_8 \text{ сут}$	0,68	0,69	3,87	4,71	29,54
$m_{14} \text{ сут}$	0,68	0,69	3,87	4,71	29,54
$m_{28} \text{ сут}$	2,05	3,49	9,3	11,32	31,82
Состав с ацелированной древесной мукой					
Номер состава	1	2	3	4	5
Соотношение компонентов (ПВД:ДМ), %	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
Прирост массы, г:					
$m_1 \text{ сут}$	0	0,1	0,82	2,94	11,11
$m_2 \text{ сут}$	0	0,1	0,82	2,94	11,11
$m_3 \text{ сут}$	0	0,1	0,82	2,94	11,11
$m_8 \text{ сут}$	0	0,1	0,82	2,94	13,88
$m_{14} \text{ сут}$	0	0,1	0,82	2,94	13,88
$m_{28} \text{ сут}$	0	0,66	3,2	4,9	16,67

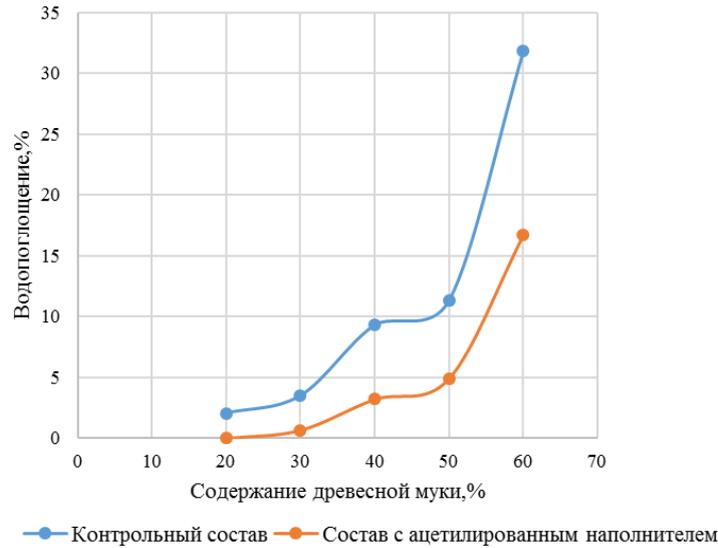


Рис. 6. Определение значения водопоглощения (по массе) на 28-е сутки

Таблица 3. Значения прочности при изгибе для различных составов композита

Контрольный состав					
Номер состава	1	2	3	4	5
Соотношение компонентов (ПВД;ДМ), %	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
$F_{max}, H$	51	68	80	75	59
Предел прочности, $H/mm^2$	19,12	25,5	30	28,125	22,12
Состав с ацелированной древесной мукой					
Номер состава	1	2	3	4	5
Соотношение компонентов (ПВД;ДМ), %	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60
$F_{max}, H$	49	68	81	60	50
Предел прочности, $H/mm^2$	18,37	25,5	30,375	22,5	18,75

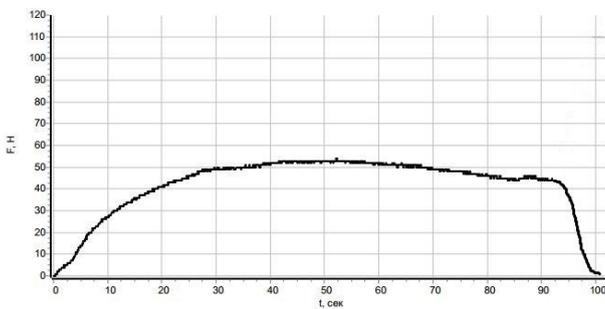


Рис. 7. Предел прочности на изгиб для контрольной состава K80/20

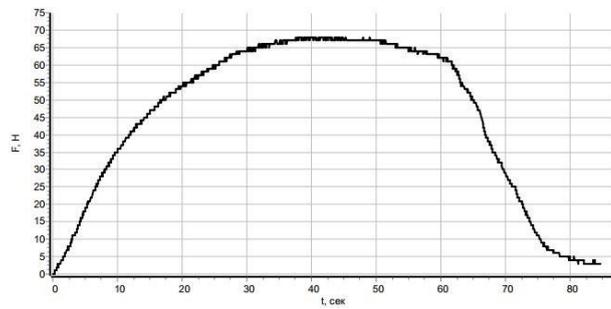


Рис. 8. Предел прочности на изгиб для контрольной состава K70/30

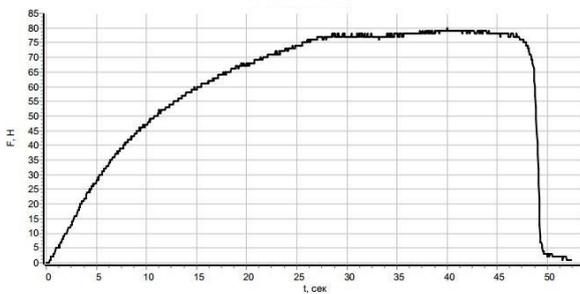


Рис. 9. Предел прочности на изгиб для контрольной состава K60/40

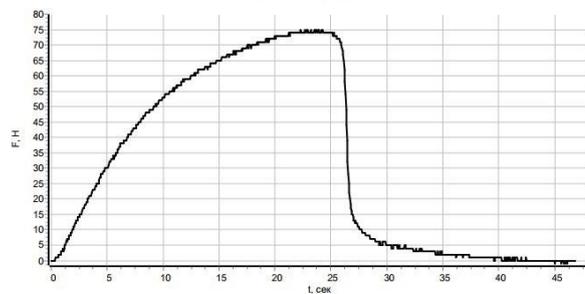


Рис. 10. Предел прочности на изгиб для контрольной состава K50/50

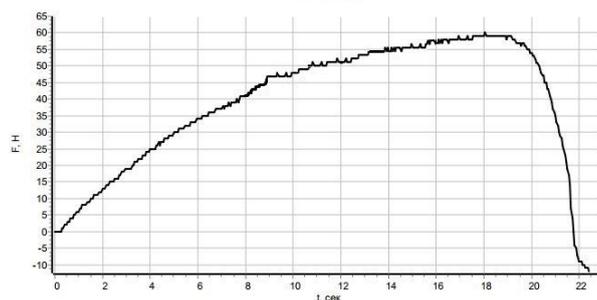


Рис. 11. Предел прочности на изгиб для контрольной состава K40/60

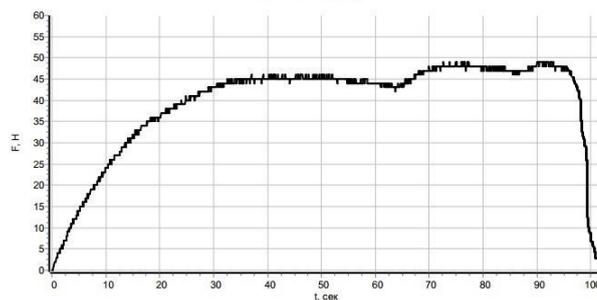


Рис. 12. Предел прочности на изгиб для ацетилованного состава A80/20

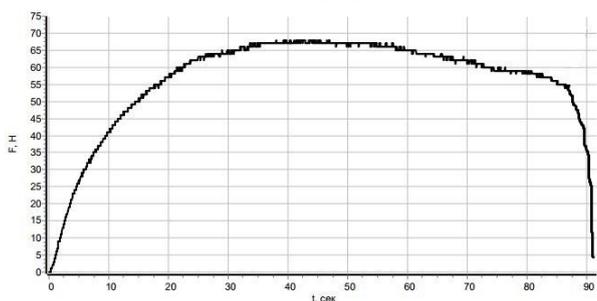


Рис. 13. Предел прочности на изгиб для ацетилованного состава A70/30

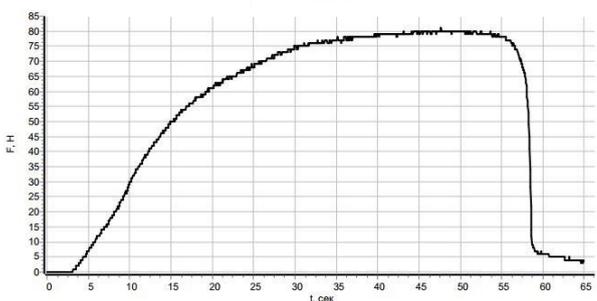


Рис. 14. Предел прочности на изгиб для ацетилованного состава A60/40

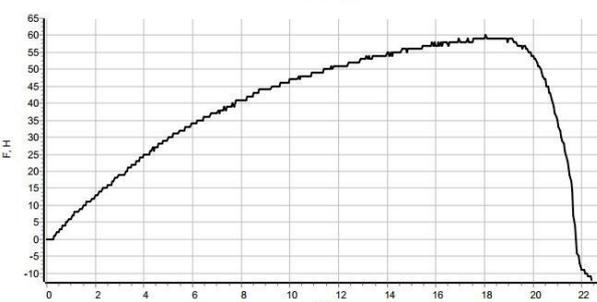


Рис. 15. Предел прочности на изгиб для ацетилованного состава A50/50

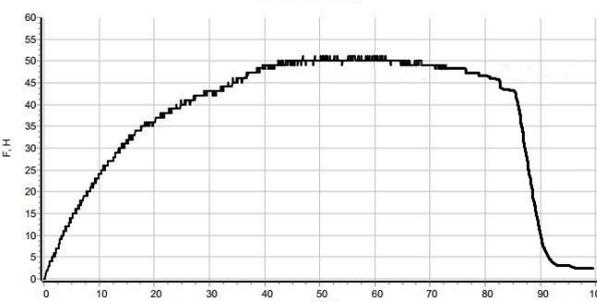


Рис. 16. Предел прочности на изгиб для ацетилованного состава A40/60

Показатели водопоглощения для различных составов композита приведены в табл. 2 и на графике (рис. 5).

Значения водопоглощения для композитов с ацетилованной древесной мукой получились в 2 раза ниже, чем для контрольных образцов — такая зависимость наблюдалась практически для всех составов, что положительно влияет на стабильность размеров материала, а также способствует повышению биостойкости ввиду меньшего содержания воды в композите.

Это может говорить об успешности метода ацетилования древесной муки березы, в результате чего произошли изменения в структуре древесины.

В то же время, значения прочности при изгибе для контрольных образцов и образцов с ацетилованной древесной мукой не показали больших расхождений. Лучший результат был получен в обоих случаях для образцов с 60%-ным содержанием древесной муки.

**Заключение.** Были сделаны следующие выводы:

1. Большое количество отечественных и зарубежных исследований подтверждает актуальность химических способов предобработки древесного наполнителя в производстве композиционных материалов, одним из

которых является метод ацетилования.

2. Значения предела текучести расплава для образцов с ацетилованной древесной мукой получились выше — наибольшая разница в показателях наблюдалась для составов с 20- и 60%-ным содержанием древесного наполнителя ( $\Delta 27,5\%$  и  $\Delta 77,1\%$  соответственно), в то же время, для состава с 50%-ным содержанием древесного наполнителя разница была незначительной ( $\Delta 8,3\%$ ). Это может быть объяснено тем, что композит с ацетилованной древесной мукой имеет большую стабильность по сравнению с контрольным составом.

3. Полученные при испытании образцов на водопоглощение (по массе) результаты (меньшее в 2 раза значение для всех составов) может говорить о том, что использование ДПК в средах, подверженных влиянию климатических условий, может положительно повлиять на долговечность таких материалов, что, безусловно, будет иметь экономический эффект.

4. Контрольный и модифицированный образцы с 60%-ным содержанием древесной муки показали наилучший результат при испытаниях на изгиб ( $F_{\max} =$

80 Н, предел прочности  $30,0 \text{ Н/мм}^2$  и  $F_{\max} = 81 \text{ Н}$ , предел прочности  $30,375 \text{ Н/мм}^2$  соответственно). В целом больших расхождений для контрольных и модифицированных образцов не наблюдалось. Можно сделать

вывод, что использование ацетилованной древесной муки позволяет улучшать физико-механические свойства композита без негативного влияния на прочностные характеристики.

#### Литература

1. Прокопьев А.А., Салимгараева Р.В., Сафин Р.Р. Обзор современных исследований в области ацетилирования древесины // *Деревообрабатывающая пром-сть*. 2022. № 2. С. 106-114.
2. Прокопьев А.А., Салимгараева Р.В., Сафин Р.Р. Исследование свойств ацетилованной древесины // *Деревообрабатывающая пром-сть*. 2023. № 1. С. 86-90.
3. Сафин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Гараева А.Ф. Влияние высокотемпературной обработки на химический состав древесного наполнителя // *Деревообрабатывающая пром-сть*. 2016. № 1. С. 50-55.
4. Галяветдинов Н.Р. Усовершенствование технологии изготовления древесно-наполненных композиционных материалов // *Деревообрабатывающая пром-сть*. 2012. № 1. С. 25-27.
5. Саерова К.В., Мухаметзянов Ш.Р., Хасаншин Р.Р. Исследование механических свойств полимерного композита, полученного двухступенчатой обработкой древесного наполнителя // *Деревообрабатывающая пром-сть*. 2022. № 3. С. 51-57.
6. Сафина А.В., Погодина Я.Д. Обзор исследований в области применения натуральных биополимеров растительного происхождения // *Деревообрабатывающая пром-сть*. 2022. № 4. С. 101-113.
7. Разумов Е.Ю., Сафин Р.Р., Шамсутдинова А.И. Современные российские исследования и разработки в области термомодифицирования пиломатериалов // *Деревообрабатывающая пром-сть*. 2017. № 3. С. 5-12.
8. Прокопьев А.А., Саерова К.В., Сафин Р.Р. Древесина как наполнитель для композиционных материалов, способы ее предварительной обработки // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2022. № 62. С. 321-324.
9. Прокопьев А.А., Салимгараева Р.В., Сафин Р.Р. Снижение смачиваемости древесины путем ацетилирования // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: тр. XVII Междунар. евразийского симпозиума (13-16 сент. 2022 г.)*. Екатеринбург, 2022. С. 60-65.
10. Саерова К.В., Мухаметзянова Г.Н., Прокопьев А.А. Изменение краевого угла смачивания древесины бука в зависимости от времени и способа обработки // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2022. № 62. С. 328-331.
11. Сафин Р.Р., Салимгараева Р.В., Прокопьев А.А. Исследование гигроскопичности ацетилованного древесного шпона // *Новые материалы и перспективные технологии лесопромышленного комплекса: материалы Всерос. науч.-практической конф. молодых ученых и студентов*. Воронеж, 2022. С. 86-91.
12. Hannah Ermeier, Mats Westin, Andreas Rapp. Differently modified wood: comparison of some selected properties // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2004. 19:sup 5. P. 31-37.
13. Huyen Thanh Vo, Chang Soo Kim, Byoung Sung Ahn, Hoon Sik Kim, Hyunjoon Lee. Study on Dissolution and Regeneration of Poplar Wood in Imidazolium Based Ionic Liquids // *Journal of Wood Chemistry and Technology*. 2011. 31:2. P. 89-102.
14. Rebecka Ringman, Annica Pilgård, Christian Brischke, Elizabeth Windeisen, Klaus Richter. Incipient brown rot decay in modified wood: patterns of mass loss, structural integrity, moisture and acetyl content in high resolution // *International Wood Products Journal*. 2017. 8:3. P. 172-182.
15. Fanni Fodor, Róbert Németh, Chiel Lankveld, Tamás Hofmann. Effect of acetylation on the chemical composition of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in relation with the physical and mechanical properties, *Wood Material Science & Engineering*. 2018. 13:5. P. 271-278.
16. Yuu Hasegawa, Mitsunori Mori, Keiichi Koda, Yasumitsu Uraki. Effect of Vapor-Phase Surface Acetylation of Japanese Cedar Wood on Fungal Degradation and Dimensional Stability // *Journal of wood chemistry and technology*. 2020. V. 40. № 1. P. 1-14.
17. Samuel L. Zelinka, Leandro Passarini. Corrosion of metal fasteners embedded in acetylated and untreated wood at different moisture contents, *Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, Canada*, 2018. P. 182-189.
18. Arruda L.M., Del Menezzi C.H.S. Effect of thermomechanical treatment on physical properties of wood veneers. 2013 IWS, the Wood Technology Society of the Institute of Materials, Minerals and Mining Received 4 June 2012; accepted 17 October 2012.
19. Milojka Gindl, Gerhard Sinn, Stefanie E. Stanzl-Tschegg. The effects of ultraviolet light exposure on the wetting properties of wood // *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2006. 20:8. P. 817-828.
20. Stig Lande, Mats Westin, Marc Schneider. Properties of Furfurylated Wood. *Scand. J. For. Res.* 2004. 19 (Suppl. 5). P. 22-30.
21. Roger M. Rowell, Rebecca E. Ibach, James McSweeney, Thomas Nilsson. Understanding decay resistance, dimensional stability and strength changes in heat-treated and acetylated wood, *Wood Material Science and Engineering*. 2009. 4:1-2. P. 14-22.

#### References

1. Prokop'ev A.A., Salimgaraeva R.V., Safin R.R. Review of modern research in the field of wood acetylation // *Derevoobrabativalushaya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2022. № 2. P. 106-114.
2. Prokop'ev A.A., Salimgaraeva R.V., Safin R.R. Investigation of the properties of acetylated wood // *Derevoobrativaushaya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2023. № 1. P. 86-90.
3. Safin R.R., Galyavetdinov N.R., Garaeva A. The effect of high-temperature treatment on the chemical composition of wood filler // *Derevoobrativaushaya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2016. № 1. P. 50-55.
4. Galyavetdinov N.R. Improvement of manufacturing technology of wood-filled composite materials // *Derevoobrativaushaya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2012. № 1. P. 25-27.
5. Saerova K.V., Muhametzyanov SH.R., Hasanshin R.R. Investigation of the mechanical properties of a polymer composite obtained by two-stage processing of wood filler // *Derevoobrativaushaya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2022. № 3. P. 51-57.
6. Safina A.V., Pogodina YA.D. Review of research in the field of application of natural biopolymers of plant origin // *Derevoobrativaushaya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2022. № 4. P. 101-113.

7. Razumov E.YU., Safin R.R., SHamsutdinova A.I. Modern Russian research and development in the field of thermomodification of lumber // Derevoobrabatival'naya promishlennost' (Woodworking industry). 2017. № 3. P. 5-12.
8. Prokop'ev A.A., Saerova K.V., Safin R.R. Wood as a filler for composite materials, methods of its pretreatment // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. 2022. № 62. P. 321-324.
9. Prokop'ev A.A., Salimgaraeva R.V., Safin R.R. Reducing the wettability of wood by acetylation. Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century // Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovanie, menedzhment XXI veka: tr. XVII Mezhdunar. evrazijskogo simpoziuma (13-16 sent. 2022 g.). Ekaterinburg, 2022. P. 60-65.
10. Saerova K.V., Muhametzyanova G.N., Prokop'ev A.A. Changing the edge angle of wetting beech wood depending on the time and method of processing // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. 2022. № 62. P. 328-331.
11. Safin R.R., Salimgaraeva R.V., Prokop'ev A.A. Investigation of hygroscopicity of acetylated wood veneer // Novye materialy i perspektivnye tekhnologii lesopromyshlennogo kompleksa: materialy Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. molodyh uchenyh i studentov. Voronezh, 2022. P. 86-91.
12. Hannah Epmeier, Mats Westin, Andreas Rapp. Differently modified wood: comparison of some selected properties // Scandinavian Journal of Forest Research. 2004. 19:sup 5. P. 31-37.
13. Huyen Thanh Vo, Chang Soo Kim, Byoung Sung Ahn, Hoon Sik Kim, Hyunjoo Lee. Study on Dissolution and Regeneration of Poplar Wood in Imidazolium Based Ionic Liquids // Journal of Wood Chemistry and Technology. 2011. 31:2. P. 89-102.
14. Rebecka Ringman, Annica Pilgård, Christian Brischke, Elizabeth Windeisen, Klaus Richter. Incipient brown rot decay in modified wood: patterns of mass loss, structural integrity, moisture and acetyl content in high resolution // International Wood Products Journal. 2017. 8:3. P. 172-182.
15. Fanni Fodor, Róbert Németh, Chiel Lankveld, Tamás Hofmann. Effect of acetylation on the chemical composition of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in relation with the physical and mechanical properties, Wood Material Science & Engineering. 2018. 13:5. P. 271-278.
16. Yuu Hasegawa, Mitsunori Mori, Keiichi Koda, Yasumitsu Uraki. Effect of Vapor-Phase Surface Acetylation of Japanese Cedar Wood on Fungal Degradation and Dimensional Stability // Journal of wood chemistry and technology. 2020. V. 40. № 1. P. 1-14.
17. Samuel L. Zelinka, Leandro Passarini. Corrosion of metal fasteners embedded in acetylated and untreated wood at different moisture contents, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, Canada, 2018. P. 182-189.
18. Arruda L.M., Del Menezzi C.H.S. Effect of thermomechanical treatment on physical properties of wood veneers. 2013 IWSc, the Wood Technology Society of the Institute of Materials, Minerals and Mining Received 4 June 2012; accepted 17 October 2012.
19. Milojka Gindl, Gerhard Sinn, Stefanie E. Stanzl-Tschegg. The effects of ultraviolet light exposure on the wetting properties of wood // Journal of Adhesion Science and Technology. 2006. 20:8. P. 817-828.
20. Stig Lande, Mats Westin, Marc Schneider. Properties of Furfurylated Wood. Scand. J. For. Res. 2004. 19 (Suppl. 5). P. 22-30.
21. Roger M. Rowell, Rebecca E. Ibach, James McSweeney, Thomas Nilsson. Understanding decay resistance, dimensional stability and strength changes in heat-treated and acetylated wood, Wood Material Science and Engineering. 2009. 4:1-2. P. 14-22.