

Исследование влияния содержания луба коры древесины березы на физико-механические свойства пластиков без связующих

А.В. Артемов^{1а}, А.С. Ершова^{1б}, В.Г. Бурындин^{1с}, Н.Г. Власов^{2д}

¹ Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский Тракт, 37, Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, ул. Мира, 19, Екатеринбург, Россия

^а artemovav@m.usfeu.ru, ^б ershovaas@m.usfeu.ru, ^с buryndinvg@m.usfeu.ru, ^д sierra146888@gmail.com

^а <https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-6248-0028>,

^с <https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>, ^д <https://orcid.org/0000-0002-3417-088X>

Статья поступила 01.02.2024, принята 22.02.2024

В настоящее время зарубежные и отечественные исследования посвящены вопросам получения материалов различного назначения на основе древесины березы. Интерес представляет использование сопутствующих компонентов данной древесины, образующихся при ее обработке, — это кора, содержащая в своем составе бересту и луб. Луб составляет основную часть березовой коры и содержит в своем составе лигнин (достигает 18,0 %), который выступает внутренним связующим компонентом при получении пластика без добавления связующих веществ (ПБС). В рамках выполненных исследований изучалась возможность применения и влияние на физико-механические свойства добавки фракционированного березового луба к древесному наполнителю в виде березовых опилок с целью получения ПБС. Было установлено, что данная добавка оказывает существенное влияние на показатели прочности и водостойкости. Однако в рамках изучаемых условий (температура прессования 180 °С, давление прессования 40 МПа, влажность наполнителя 12 %, отсутствие химической и физической модификации) не удастся получить материал на основе ПБС, в котором одновременно сочетались бы и высокие показатели по прочности при изгибе, и низкие показатели по водопоглощению. Такое особенное поведение можно рассматривать в рамках взаимодействия двух разных компонентов наполнителя, которые из-за своих различных морфологических характеристик ограниченно совместимы при общей пьезотермической обработке. С учетом выполненного анализа проведенных экспериментов рекомендуемое содержание луба в древесном наполнителе для получения ПБС предлагается в интервале 24÷62 масс. %. Такое содержание луба обеспечит приемлемые прочностные свойства и показатели по водостойкости.

Ключевые слова: пластик; древесные отходы; березовые опилки; луб; физико-механические свойства.

Investigation of the effect of birch bark bast content on the physical and mechanical properties of plastics without resins

A.V. Artyomov^{1а}, A.S. Ershova^{1б}, V.G. Bryndin^{1с}, N.G. Vlasov^{2д}

¹ Ural State Forest Engineering University; 37 Sibirsky Trakt St., Ekaterinburg, Russia

² Ural Federal University named after B.N. Yeltsin; 19, Mira St., Ekaterinburg, Russia

^а artemovav@m.usfeu.ru, ^б ershovaas@m.usfeu.ru, ^с buryndinvg@m.usfeu.ru, ^д sierra146888@gmail.com

^а <https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-6248-0028>,

^с <https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>, ^д <https://orcid.org/0000-0002-3417-088X>

Received 01.02.2024, accepted 22.02.2024

Currently, both foreign and domestic research is dedicated to the production of materials for various purposes based on birch wood. Of particular interest is the utilization of accompanying components of this wood, which are formed during its processing — namely, the bark containing both the outer and inner bark. The inner bark constitutes the main part of the birch bark and contains lignin (reaching 18.0%), which acts as an internal binding component in the production of binderless plastics (PWR). In the context of the conducted studies, the feasibility and impact of adding fractionated birch bark to the wood filler in the form of birch sawdust are examined with the aim of obtaining PWR. It is found that this additive significantly influences the strength and water resistance parameters. However, under the studied conditions (pressing temperature — 180 °C, pressing pressure — 40 MPa, filler humidity — 12%, absence of chemical and physical modification), it is not possible to obtain a material based on PWR that simultaneously combines high strength and low water absorption. This particular behavior can be considered within the interaction of two different filler components, which, due to their distinct morphological characteristics, are limitedly compatible during the common piezothermal treatment. Considering the analysis of the conducted experiments, the recommended content of birch bark in the wood filler for obtaining PWR is suggested in the range of 24 to 62 mass%. Such a content of birch bark ensures acceptable strength properties and water resistance indicators.

Keywords: plastic; wood waste; birch sawdust; bast; physical and mechanical properties.

Введение. При осуществлении грубой окорки древесины березы предусматривается снятие только верхнего слоя коры — бересты, а на поверхности окоряемых лесоматериалов полностью или частично остается луб, предохраняющий их от растрескивания. Грубой окорке в основном подвергают древесное сырье для получения некоторых видов технологической щепы, пиловочные бревна, фанерный и тарный кряж [1].

Ежегодно в стране потребляется более 6 млн м³ березового сырья, при этом получают до 300 тыс. т отходов окорки в пересчете на абсолютно сухую массу. В свежесрубленном состоянии древесина березы содержит до 13 % коры. Такие отходы содержат 20–40 % бересты, 55–75 % луба и до 5 % древесины, причем известно, что береста хорошо отделяется от луба [2].

Сам луб составляет основную часть березовой коры (около 80 %) [3] и содержит очень большое количество экстрактивных и водорастворимых веществ (в том числе дубильных веществ), урановых кислот, пентозанов и других ценных компонентов [4–6]. Содержание лигнина составляет около 18,0 % [6].

Отмечается, что целесообразнее проводить независимую переработку коры березы с разделением ее на бересту и луб [7].

Например, в работе [8] представлены результаты исследований по обработке воздушно-сухого луба коры березы повислой водным раствором 2%-го NaOH при температуре 65±5 °С с получением модифицированного энтеросорбентного материала. Результаты исследований показали, что получаемые сорбенты обладают высокой сорбционной активностью и сравнимы по своим свойствам с более дорогими промышленными аналогами.

В работе [9] разработаны рекомендации по использованию отработанного луба в качестве минерального удобрения и структурирующей добавки в почву. Были получены положительные результаты испытаний экстрактов луба в качестве БАВ на ростостимулирующую способность таких растений, как акация, петуния, перец и сосна.

В обзоре [10] рассматриваются существующее и перспективное применение гибридных композитов на основе лубяных волокон. Приводятся сведения по физико-механическим, термическим и огнезащитным свойствам.

Большинство зарубежных исследований [11–13] по применению луба различных древесных и однолетних растений посвящено вопросам его использования в качестве армирующей добавки к древесному наполнителю либо к термопластичной матрице при получении древесных и древесно-композиционных материалов.

Так, например, исследования [11] показали благоприятные свойства лубяных волокон папайи на способность древесно-полимерных композитов сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации. Делается вывод о том, что такие лубяные волокна представляют собой многообещающее сырье для композитов и недорогую альтернативу древесине.

Другие авторы [12] рассматривают различные методы выращивания, сбора и разделения волокон, позволяющие получить лубяное волокно надлежащего качества для использования в качестве армирования полимерматричных композитов. Также рассмотрены характеристики различных лубяных волокон, которые

могут превосходить соответствующие свойства армирующих материалов из стекловолокна, и считаются менее проблематичными с точки зрения воздействия на окружающую среду.

В статье [13] приводятся сведения по изучению влияния добавки в виде лубяного порошка кенафа в различных соотношениях на композиты на основе линейного полиэтилена низкой плотности и поливинилового спирта. Результаты испытаний на растяжение полученных композитов показали, что увеличение содержания лубяного порошка снижает их прочность на разрыв и относительное удлинение при разрыве, но при этом увеличивается их модуль упругости.

Получение древесных материалов на основе древесины березы имеет значительное количество исследований, которые в настоящее время в большей степени сводятся либо к оптимизации процессов получения данных материалов, либо к разработке технологий для получения альтернативных материалов, например, пластиков без добавления синтетических связующих (ПБС) [14–16].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что проблемы повышения качества и эксплуатационных свойств материалов на основе древесного сырья, в том числе и ПБС, активно прорабатываются в отечественной и зарубежной научной среде. Однако вопрос по использованию луба березы в качестве улучшающей добавки к древесному наполнителю является малоизученным направлением в данной области, особенно в нашей стране.

Целью данного исследования является изучение влияния содержания луба коры березы в пресс-сырье на ее основе на физико-механические свойства ПБС.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- изучение изменений физико-механических показателей полученных материалов в зависимости от содержания добавки в виде луба коры березы;
- определение рациональной композиции пресс-сырья с возможностью создания материалов с требуемыми эксплуатационными показателями по прочности и водостойкости.

Методика исследований. Объектом исследования являлись ПБС на основе опилок древесины березы с различным содержанием луба коры березы. Содержание добавки принималось следующим по композициям: № 1 — 0, № 2 — 25, № 3 — 50, № 4 — 75, № 5 — 100 масс. %.

В качестве пресс-сырья использовались опилки древесины березы в виде отходов деревообработки. Перед механической обработкой древесины был получен луб путем механического отделения от коры древесины березы. Исходная влажность сырья составила 4,89 % для березовых опилок и 4,87 % для луба.

Полученные компоненты сырья были подвергнуты дополнительному измельчению в электрической ножевой мельнице и просеяны через сито 0,7 мм. По полученным композициям достигалась оптимальная влажность пресс-сырья — 12 %.

Изготавливались образцы-диски диаметром 90 мм и толщиной 2 мм методом горячего компрессионного прессования в закрытой пресс-форме при следующих условиях: давление прессования 40 МПа, температура прессования 180 °С, продолжительность прессования

10 мин, продолжительность охлаждения под давлением 10 мин. Полученные образцы подвергались кондиционированию в комнатных условиях в течении суток.

После кондиционирования образцы-диски ($n = 5 \div 7$ по каждой композиции) подготавливались к испытаниям на физико-механические свойства по существующим методикам исследований. Были определены следующие показатели: плотность, прочность при изгибе (ГОСТ 4648-2014), твердость по вдавливанию шарика (ГОСТ 4670-91), модуль упругости при изгибе по прогибу образца-диска [17], водопоглощение по объему за 24 ч и разбухание по толщине за 24 ч (ГОСТ 4650-2014), ударная вязкость (DIN 51230-1977), краевой угол смачивания [18].

Подготовка образцов-дисков к испытаниям осуществлялась по следующей схеме. У полученных образцов-дисков после кондиционирования осуществлялось определение плотности и модуля упругости при изгибе по прогибу образца-диска ($n = 5 \div 14$ по каждой композиции). После испытаний на жесткость, образцы-диски распиливались на 4 части, где центральные части образца в виде пластин шириной 20 мм использовались для определения прочности при изгибе, а сегменты — на твердость по вдавливанию шарика ($n = 10 \div 14$ по каждой композиции). После испытаний на прочность при изгибе из разрушенных пластин выпиливались квадраты 20x20 мм для определения водопоглощения по объему за 24 ч, разбухания по толщине за 24 ч и краевого угла смачивания ($n = 40 \div 56$ по каждой композиции). Из сегментов образцов диска после испытаний на твердость изготавливались пластинки с размерами 1x1,5 см для определения ударной вязкости ($n = 20 \div 28$ по каждой композиции).

Процесс прессования в закрытой пресс-форме сопровождается неравномерностью пластификации материала в периферийной зоне образцов-дисков (в данной части образца из-за естественного удаления легколетучих компонентов из пресс-сырья происходит образование спрессованного брикета). В ходе исследования на физико-механические свойства использовались пластифицированные части образцов (преимущественно центральные части).

Все результаты испытаний были подвергнуты статистической обработке на выявление грубых промахов и определении интервала доверительной вероятности (по коэффициенту линейной аппроксимации R^2) [19].

Результаты исследований. Фото- и микрофотографии (1:400) измельченного сырья представлены на рис. 1.

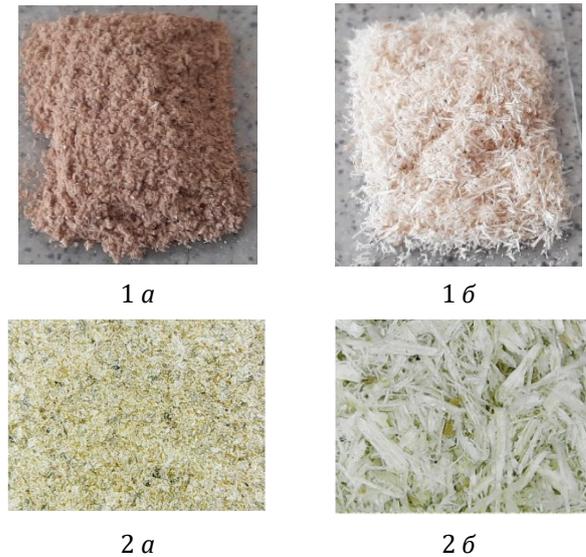


Рис. 1. Фото- (1) и микрофотографии (2) компонентов пресс-сырья: *a* — луб березовой коры; *б* — березовые опилки

Анализ морфологического состава частиц пресс-сырья, полученного после измельчения каждого из компонентов, позволяет отметить его не идентичность: измельченный луб легко просеивался и представлял собой порошкообразную массу из чешуйкообразных частиц (рис. 1). Измельченные березовые опилки представляли собой более крупные частицы преимущественно волокнистой формой.

Частицы исходного различного лигнинцеллюлозо-содержащего сырья могут проявлять отрицательные моменты при использовании их совместно с пресс-материалом — не будет должным образом обеспечиваться их контакт при пьезотермической обработке как по всей поверхности из-за различной формы, так и по толщине из-за различия в насыпной плотности. Соответственно, возможно, такая несовместимость компонентов пресс-сырья будет предопределять некоторые физико-механические свойства получаемых пластиков.

Результаты испытаний на физико-механические свойства сведены в табл. 1. Модели линейных регрессий для каждого физико-механического показателя и соответствующие графические зависимости представлены на рис. 2–9.

Таблица 1. Физико-механические свойства ПБС различных композиций

Физико-механические свойства	Содержание луба в древесном пресс-сырье, масс. %					R^2
	0	25	50	75	100	
Плотность, $кг/м^3$	961	1 007	1 009	1 033	1 089	0,914
Прочность при изгибе, $МПа$	5,0	16,8	13,6	11,4	9,8	0,023
Модуль упругости при изгибе (по прогибу образца-диска), $МПа$	1 620	2 265	2 379	2 577	3 372	0,914
Твердость по Бринеллю, $МПа$	19	20	16	22	16	0,059
Ударная вязкость, $кДж/м^2$	1,833	2,440	2,164	1,997	0,633	0,416
Водопоглощение по объему за 24 ч, %	205	92	73	48	35	0,806
Разбухание по толщине за 24 ч, %	14	8	7	7	5	0,771
Краевой угол смачивания, °	65,1	81,5	83,4	84,7	86,1	0,693

На основании данных, представленных в табл. 1, можно сделать следующие выводы о влиянии добавки в виде луба // компонентов пресс-сырья: насыпная плотность опилок березы составила 220 кг/м^3 , для луба — 340 кг/м^3 .

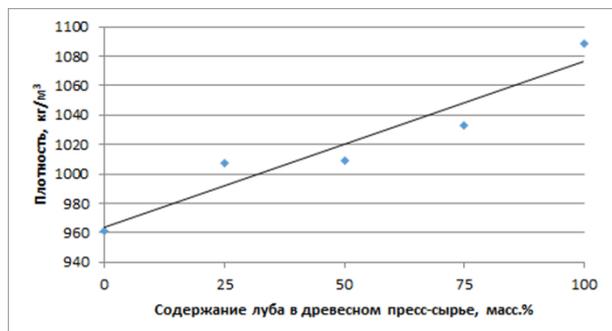


Рис. 2. Зависимость плотности ПБС от содержания луба в древесном пресс-сырье

2. Отсутствует линейная зависимость от содержания луба в пресс-композиции на прочность при изгибе получаемого пластика ($R^2 = 0,023$). Наибольшим показателем прочности на изгиб обладают пластики с содержанием в пресс-сырье 25 % луба (увеличение данного показателя достигает 238 %) (табл. 1). Последующее повышение содержания добавки приводит к постепенному снижению рассматриваемого показателя. Можно говорить, о том, что при содержании до 50 масс. % добавки луба в древесном наполнителе наблюдается ее положительное влияние на прочностные показатели получаемого пластика. Дальнейшее же увеличение ее содержания приводит к снижению прочности при изгибе, но не достигает значений, установленных для ПБС только на основе березовых опилок.

3. Присутствует линейная зависимость от содержания луба в пресс-композиции на модуль упругости при изгибе (по прогибу образца-диска) получаемого пластика ($y = 15,264x + 1679,4$, $R^2 = 0,914$). Изменение модуля упругости при изгибе (по прогибу образца-диска) от содержания луба в пресс-сырье имеет четкую зависимость (рис. 3): с ростом концентрации луба возрастает и модуль упругости при изгибе испытываемых пластиков. Введение добавки луба в пресс-сырье приводит к росту данного показателя до 108 %.

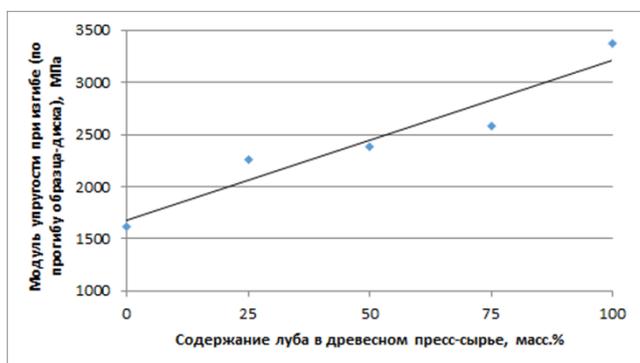


Рис. 3. Зависимость модуля при изгибе (по прогибу образца-диска) ПБС от содержания луба в древесном пресс-сырье

4. Влияние на показатель твердости в зависимости от содержания луба в пресс-сырье полностью отсутствует (как по аналогии с показателем прочности при изгибе) (табл. 1). Отсутствие влияния компонентного состава пресс-сырья можно объяснить в первую очередь неравномерностью распределения в составе наполнителя из-за различия свойств его компонентов, а также условиями пьезотермической обработки, которые и определяют формирование показателя твердости лицевой поверхности материала. Т. е. на саму структуру лицевой поверхности образцов на основе изучаемых композиций оказывает значительное влияние сам процесс пьезотермической обработки.

5. Отсутствует явная линейная зависимость от содержания луба в пресс-композиции на ударную вязкость материала ($R^2 = 0,416$). Добавка луба до 50 масс. % приводит к повышению показателя ударной вязкости образцов на 18 % (рис. 6). Дальнейшее увеличение содержания луба в пресс-сырье приводит к снижению данного показателя. Для полученных пластиков из 100 % луба данный показатель является наименьшим и в целом довольно очень низким, что говорит о высокой хрупкости получаемого материала при ударном воздействии. Такое влияние добавки в виде луба, можно объяснить формой частиц компонентов наполнителя (опилок и самого луба). Прочные целлюлозные волокна древесного сырья внутри каждой частицы опилок позволяют более эффективно выдерживать ударное воздействие. В то время как мелкие чешуйкообразные частицы луба, напротив, обуславливают хрупкость материала и тем самым снижают показатель ударной вязкости.

6. Прослеживается явная линейная зависимость от содержания луба в пресс-композиции на водопоглощение ПБС ($y = -1,536x + 167,4$, $R^2 = 0,806$). Образцы с наибольшим содержанием березовых опилок обладают наибольшим показателем водопоглощения (рис. 4). Введение различных добавок луба значительно снижает показатель водопоглощения. Так, например, у образцов при 100 % содержании луба в качестве наполнителя снижается водопоглощение на 83 % по отношению к образцам только с наполнителем в виде березовых опилок.

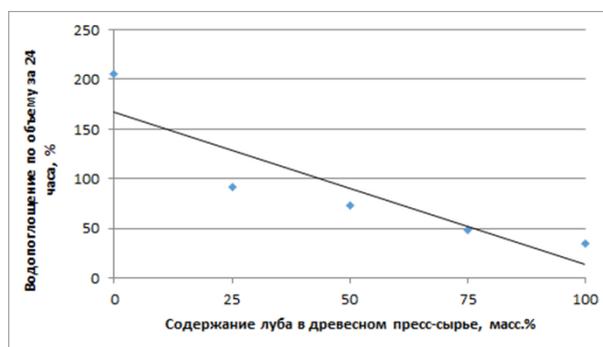


Рис. 4. Зависимость водопоглощения ПБС от содержания луба в древесном пресс-сырье

7. Наблюдается наличие линейной зависимости от содержания луба в пресс-композиции на разбухание по толщине исследуемых образцов ($y = -0,076x + 12$, $R^2 = 0,771$). Аналогично снижению показателя водопогло-

щения, введение добавок луба снижает значение свойства разбухания по толщине (рис. 4). Общее снижение разбухания образцов по всему интервалу содержания луба в древесном наполнителе достигает 64 %.

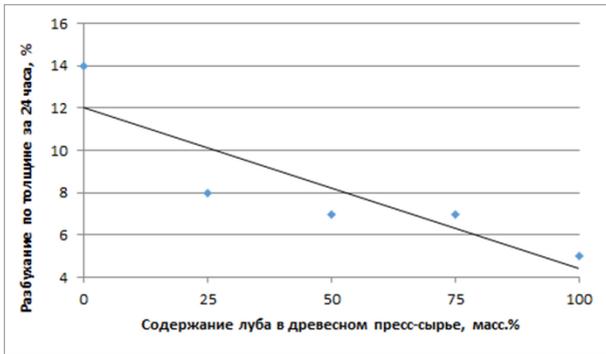


Рис. 4. Зависимость разбухания ПБС от содержания луба в древесном пресс-сырье

8. Имеется слабая линейная зависимость от содержания луба в пресс-композиции на показатель краевого угла смачивания ($R^2 = 0,693$). Содержание луба в наполнителе позволяет достигнуть увеличения краевого угла смачивания до 86° , т. е. достигается частичная гидрофобизация поверхности получаемого материала (табл. 1).

Определение рациональной рецептуры содержания луба березы в древесном наполнителе было выполнено по показателям прочности при изгибе и по водопоглощению образцов. Для сопоставления из различных композиций образцов ПБС по прочности при изгибе и водопоглощению следует приводить изучаемое свойство к одинаковой плотности пластика. В качестве контрольной плотности принимались данные по плотности образцов, полученных только на основании древесного наполнителя [20].

Результаты приведения прочности при изгибе и водопоглощения ПБС к одной плотности представлены в табл. 2.

Таблица 2. Физико-механические свойства ПБС, приведенных к одной плотности

Содержание луба в древесном наполнителе, масс. %	0	25	50	75	100
Плотность, $кг/м^3$	961	1 007	1 009	1 033	1 089
Приведенная плотность, $кг/м^3$	961	961	961	961	961
Определенная прочность при изгибе, МПа	5,0	16,8	13,6	11,4	9,8
Расчетная прочность при изгибе, МПа	5,0	14,4	11,0	7,6	3,0
Определенное водопоглощение за 24 ч, %	205	92	73	48	35
Расчетное водопоглощение за 24 ч, %	205	90	71	45	30

Для определения рациональной композиции пресс-сырья на основе березовых опилок с добавлением луба был использован метод линейной оптимизации. В качестве оптимизационных показателей были рассмотрены физико-механические свойства по прочности при изгибе

и водопоглощения за 24 ч ПБС. Из-за невысокого значения коэффициента аппроксимации линейной зависимости данных свойств и с целью определения пиков экстремума были получены зависимости данных свойств в виде полиномов II степени [19].

На рис. 5, 6 приведены зависимости прочности при изгибе и водопоглощения за 24 ч ПБС, приведенных к единой плотности, от содержания луба в древесном наполнителе.

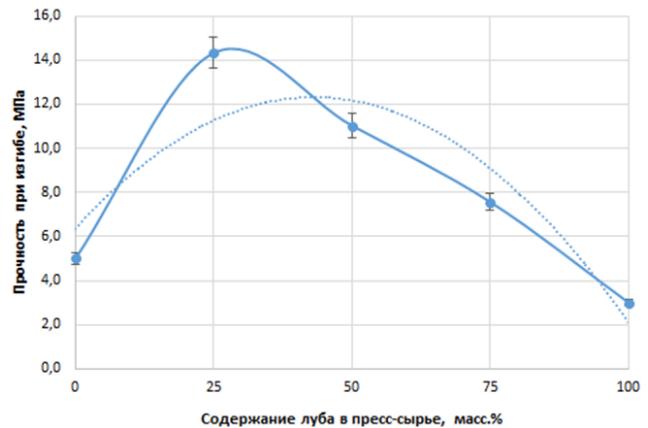


Рис. 5. Зависимость прочности при изгибе ПБС, приведенных к единой плотности, от содержания луба в древесном пресс-сырье

На рис. 10 наблюдается экстремум максимум функции для зависимости прочности при изгибе ПБС от количества содержания луба, которое описывается полиномиальным уравнением регрессии $y = -0,0032x^2 + 0,2772x + 6,3474$ ($R^2 = 0,8098$). При условии «прочность при изгибе \rightarrow max» содержание луба составляет 43 масс. %, при этом расчетные прочность при изгибе — 12,3 МПа и водопоглощение за 24 ч — 73 %.

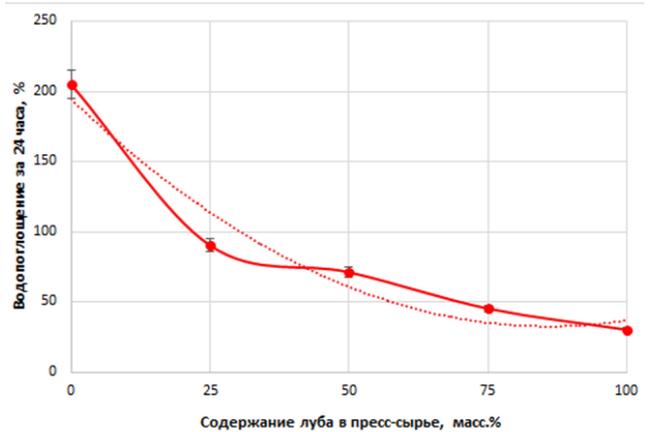


Рис. 6. Зависимость водопоглощения ПБС, приведенных к единой плотности, от содержания луба в древесном пресс-сырье

На рис. 11 наблюдается экстремум минимум функции для зависимости водопоглощения ПБС от количества содержания луба, которое описывается полиномиальным уравнением регрессии $y = 0,022x^2 - 3,7774x + 194,8$ ($R^2 = 0,9516$). При условии «водопоглощение за 24 ч \rightarrow min» содержание луба составляет 86 масс. %, прочность при изгибе — 6,5 МПа, водопоглощение за 24 ч — 33 %.

На основании полученных экстремумов можно говорить, что при использовании добавки луба к древесному наполнителю не удастся получить материал, который бы сочетал в себе и высокий показатель по прочности при изгибе, и низкое водопоглощение.

Заключение. В целом для ПБС использование добавки в виде фракционированного луба коры березы для древесного наполнителя (опилки древесины березы) является малоизученным и перспективным направлением. Кроме того, при использовании пресс-сырья в виде опилок березы, полученных из грубо окоренной древесины, присутствует вероятность наличия в нем содержания определенного количества луба, который, в свою очередь, имеет определенные химические и физические свойства и может оказывать определенное влияние на физико-механические свойства получаемого материала на основе ПБС.

Особенностью при использовании луба в качестве добавки к древесному наполнителю являются изначально разная форма и свойства частиц. Форма частиц может оказывать существенное влияние на прочностные свойства материала. В общем случае можно сказать, что чем меньше размер частиц, тем лучше они контактируют между собой в процессе пьезотермической обработки и тем выше плотность и прочность получаемого пластика. Если частицы крупные и имеют неоднородную форму, в данном случае — как у луба,

то они формируют немонолитную структуру и придают материалу низкие прочностные показатели.

Установлено, что, по косвенной оценке показателя краевого угла смачивания, добавка в виде луба обладает гидрофобностью и придает данную гидрофобность пластикам с увеличением их содержания в наполнителе. С учетом того, что аналогичная тенденция наблюдается по другим показателям водостойкости (разбухание, водопоглощение), данная добавка позволяет получать не только ПБС с гидрофобизирующим покрытием, но и не допускать проникновение воды во внутренние слои материала.

На основании полученных экспериментальных данных можно предложить рациональное содержание исследуемой добавки в наполнителе в интервале 24÷62 масс. % (в предлагаемом интервале наблюдается допустимое снижение прочности на 10 % для материалов на основе древесины), которое позволит получать ПБС с приемлемыми физико-механическими свойствами.

Продолжение исследований по применению добавки в виде луба совместно с древесным наполнителем предполагает выявление закономерностей получения ПБС в различных условиях пьезотермической обработки (температура и давления прессования), а также влияния характеристики исходного сырья (фракционный состав, влажность).

Литература

- Палкин Е.В., Розанова Т.С. Описание процесса окорки круглых лесоматериалов и горбылей // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 4 (40). С. 141-147.
- Михайлов Г.М., Серов Н.А. Пути улучшения использования вторичного древесного сырья. М.: Лесная пром-сть, 1988. 223 с.
- Захарова А.И., Третьяков С.И., Кутакова Н.А., Коптелова Е.Н. Выделение экстрактивных веществ из луба коры березы при воздействии СВЧ-поля // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2015. № 4 (346). С. 148-155.
- Ведерников Д.Н., Шабанова Н.Ю., Рошин В.И. Изменение химического состава корки и луба березы повислой *Betula pendula* Roth (Betulaceae) по высоте дерева // Химия растительного сырья. 2010. № 2. С. 43-48.
- Сафина А.В., Абдулина Д.Р., Зиатдинова Д.Ф. Моделирование процесса извлечения бетулина из бересты березы // Деревообрабатывающая пром-сть. 2022. № 1. С. 80-89.
- Бадюгина А.И., Третьяков С.И., Кутакова Н.А., Коптелова Е.Н. Исследование кинетических закономерностей процесса СВЧ-экстракции луба в сравнении с березовой корой // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2017. № 3 (357). С. 164-175.
- Белякова А.Ю., Погребняк А.В., Погребняк Л.В. Физико-химические и биологические свойства компонентов внешней коры березы // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С. 492.
- Веприкова Е.В., Кузнецова С.А., Чесноков Н.В., Кузнецов Б.Н. Свойства энтеросорбентов, полученных иммобилизацией фурацилина и желатина на пористой подложке из луба коры березы // Журнал Сибирского федер. ун-та. Сер. Химия. 2014. Т. 7, № 1. С. 100-111.
- Бадюгина А.И., Третьяков С.И., Кутакова Н.А., Коптелова Е.Н. Извлечение биологически активных веществ из луба березовой коры // Химия растительного сырья. 2015. № 2. С. 135-140.
- Mokhena T.C., Mtibe A., Mokhothu T.H., Mochane M.J., John M.J. A Review on Bast-Fibre-Reinforced Hybrid Composites and Their Applications // *Polymers*. 2023. V. 15. P. 3414.
- Lautenschläger T., Kempe A., Neinhuis C., Wagenführ A., Siwek S. Not only delicious: Papaya bast fibres in biocomposites // *BioResources*. 2016. V. 11, № 3. P. 6582-6589.
- Summerscales J., Dissanayake N.P.J., Virk A.S., Hall W. A review of bast fibres and their composites. Part 1 - Fibres as reinforcements // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2010. V. 41, № 10. P. 1329-1335.
- Pang A.L., Ismail H., Azhar A.B. Mechanical, Thermal, and Degradation Properties of Linear Low-Density Polyethylene / Polyvinyl Alcohol / Kenaf Bast Powder Composites // *Biofiller-Reinforced Biodegradable Polymer Composites*. CRC Press, 2020. P. 133-149.
- Бирман А.Р., Тамби А.А., Угрюмов С.А., Гильванов П.Р. Технология модификации древесины березы для создания нейтронозащитных материалов // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2022. № 2 (386). С. 159-169.
- Овсянникова А.С., Каптелкин А.А., Куликова Н.В., Рыкунин С.Н. Технология производства заготовок для поручней из березовых мелких круглых лесоматериалов // Деревообрабатывающая пром-сть. 2023. № 3. С. 75-81.
- Артёмов А.В., Вураско А.В., Ершова А.С., Бурындин В.Г. Влияние содержания гидролизного лигнина на показатели отделочного материала на основе пластика без связующего // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. 2023. № 245. С. 293-307.
- Артёмов А.В., Савиновских А.В., Бурындин В.Г. Модуль упругости при изгибе как показатель физико-механических свойств древесных пластиков без добавления связующих // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 1 (49). С. 67-71.
- Мичуров Д.М., Шаркова А.С., Шкуро А.Е., Кривоногов П.С. Исследование смачиваемости и водопоглощения композитов с полимерной фазой полилактида и опилками

бука // *Деревообрабатывающая пром-сть*. 2023. № 3. С. 121-127.

19. Просвирников Д.Б., Сафин Р.Р., Козлов Р.Р. Математическое моделирование процесса непрерывной паровзрывной обработки древесины с предварительной пропиткой в присутствии катализатора // *Деревообрабатывающая пром-сть*. 2020. № 2. С. 70-86.
 20. Артёмов А.В., Савиновских А.В., Буриндин В.Г. Влияние термообработки на биостойкость древесного пластика без добавления связующего // *Вестн. Поволжского гос. технологического ун-та. Сер. Материалы. Конструкции. Технологии*. 2022. № 4. С. 15-25.
- References*
1. Palkin E.V., Rozanova T.S. Description of the process of debarking round timber and humps // *Systems. Methods. Technologies*. 2018. № 4 (40). P. 141-147.
 2. Mihajlov G.M., Serov N.A. Ways to improve the use of recycled wood raw materials. M.: *Lesnaya prom-st'*, 1988. 223 p.
 3. Zaharova A.I., Tret'yakov S.I., Kutakova N.A., Koptelova E.N. Isolation of extractive substances from birch bark bast under the influence of a microwave field // *Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal)*. 2015. № 4 (346). P. 148-155.
 4. Vedernikov D.N., SHabanova N.YU., Roshchin V.I. Change in the chemical composition of the bark and bast of the hanging birch *Betula pendula* Roth. (Betulaceae) by tree height // *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja (Chemistry of plant raw material)*. 2010. № 2. P. 43-48.
 5. Safina A.V., Abdullina D.R., Ziatdinova D.F. Modeling of the betulin extraction process from birch bark // *Derevoobrabatival'naya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2022. № 1. P. 80-89.
 6. Badogina A.I., Tret'yakov S.I., Kutakova N.A., Koptelova E.N. Investigation of the kinetic patterns of the microwave extraction of bast in comparison with birch bark // *Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal)*. 2017. № 3 (357). P. 164-175.
 7. Belyakova A.YU., Pogrebnyak A.V., Pogrebnyak L.V. Physico-chemical and biological properties of components of the outer bark of birch // *Modern problems of science and education*. 2015. № 2-2. P. 492.
 8. Veprikova E.V., Kuznecova S.A., CHesnokov N.V., Kuznecov B.N. Properties of enterosorbents obtained by immobilization of furacilin and gelatin on a porous substrate made of birch bark bast // *Journal of Siberian Federal University. Ser. Chemistry*. 2014. V. 7, № 1. P. 100-111.
 9. Badogina A.I., Tret'yakov S.I., Kutakova N.A., Koptelova E.N. Extraction of biologically active substances from birch bark bast // *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja (Chemistry of plant raw material)*. 2015. № 2. P. 135-140.
 10. Mokhena T.C., Mtibe A., Mokhothu T.H., Mochane M.J., John M.J. A Review on Bast-Fibre-Reinforced Hybrid Composites and Their Applications // *Polymers*. 2023. V. 15. P. 3414.
 11. Lautenschläger T., Kempe A., Neinhuis C., Wagenführ A., Siwek S. Not only delicious: Papaya bast fibres in biocomposites // *BioResources*. 2016. V. 11, № 3. P. 6582-6589.
 12. Summerscales J., Dissanayake N.P.J., Virk A.S., Hall W. A review of bast fibres and their composites. Part 1 - Fibres as reinforcements // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2010. V. 41, № 10. P. 1329-1335.
 13. Pang A.L., Ismail H., Azhar A.B. Mechanical, Thermal, and Degradation Properties of Linear Low-Density Polyethylene / Polyvinyl Alcohol / Kenaf Bast Powder Composites // *Biofiller-Reinforced Biodegradable Polymer Composites*. CRC Press, 2020. P. 133-149.
 14. Birman A.R., Tambi A.A., Ugryumov S.A., Gil'vanov P.R. Technology of modification of birch wood for the creation of neutron-protective materials // *Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal)*. 2022. № 2 (386). P. 159-169.
 15. Ovsyannikova A.S., Kapelkin A.A., Kulikova N.V., Rykunin S.N. Technology of production of blanks for handrails from birch small round timber // *Derevoobrabatival'naya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2023. № 3. P. 75-81.
 16. Artyomov A.V., Vurasko A.V., Ershova A.S., Buryndin V.G. The influence of the content of hydrolytic lignin on the performance of a finishing material based on plastic without binder // *Izvestia SPbLTA*. 2023. № 245. P. 293-307.
 17. Artyomov A.V., Savinovskih A.V., Buryndin V.G. Modulus of elasticity in bending as an indicator of the physico-mechanical properties of wood plastics without the addition of binders // *Systems. Methods. Technologies*. 2021. № 1 (49). P. 67-71.
 18. Michurov D.M., SHarkova A.S., SHkuro A.E., Krivonogov P.S. Investigation of the wettability and water absorption of composites with the polymer phase of polylactide and beech sawdust // *Derevoobrabatival'naya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2023. № 3. P. 121-127.
 19. Prosvirnikov D.B., Safin R.R., Kozlov R.R. Mathematical modeling of the continuous steam explosive processing of wood with preliminary impregnation in the presence of the catalyst // *Derevoobrabatival'naya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2020. № 2. P. 70-86.
 20. Artyomov A.V., Savinovskih A.V., Buryndin V.G. The influence of heat treatment on the biostability of wood plastic without the addition of a binder // *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser. Materials. Constructions. Technologies*. 2022. № 4. P. 15-25.