

3. ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ

УДК 674.81

А.В. Артёмов, Н.Г. Власов, А.С. Ершова, А.В. Вураско, В.Г. Бурындин

ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ БЕРЕСТЫ В ПРЕСС-СЫРЬЕ НА СВОЙСТВА ПЛАСТИКА БЕЗ СВЯЗУЮЩЕГО НА ОСНОВЕ БЕРЕЗОВЫХ ОПИЛОК

Введение. Процесс изготовления прессованных изделий из древесных частиц без применения связующих агентов имеет длительную историю [Минин, 1965; Солечник и др., 1963; Петри, 1976], оптимизация и усовершенствование технологии их получения продолжается и в настоящее время [Базарнова и др., 1997; Бурындин и др., 2018; Просвириков и др., 2020, Иванов и др., 2021]. Основными преимуществами технологии получения пластиков без связующих (ПБС) является то, что в качестве сырья возможно использование дешевых материалов в виде отходов деревообрабатывающей промышленности, а процесс производства является экологически безопасным.

Для получения ПБС может выступать не только древесное, но и любое лигноцеллюлозосодержащее сырье [Микрюкова и др., 2019; Ершова и др., 2020; Криворотова и др., 2022]. В зависимости от исходного сырья, получаемые пластики обладают различными физико-механическими свойствами, а также способностью к биостойкости и гидрофобности. Такое обстоятельство в первую очередь объясняется различным составом лигнинных соединений исходного пресс-сырья, а именно относительным содержанием G-, S- и H-единиц [Artemov et al., 2023].

В ранее выполненных работах была показана перспективность использования пресс-сырья на основе березы с целью получения ПБС [Базарнова и др., 1997; Бурындин и др., 2020]. Отмечается то, что материалы на основе ПБС, полученные из березовых опилок обладают более высокой водо- и биостойкостью по сравнению с ПБС на основе сосновых опилок [Артёмов и др., 2022]. Однако, как и любой материал на основе лигноцеллюлозосодержащего сырья, ПБС на основе березовых опилок требует решений по повышению показателей водо- и биостойкости.

Одним из вариантов устранения данного недостатка является возможность применения для пресс-материала коры березы, которая в настоящее время не находит полноценного рационального использования на самих фанерных производствах, но при этом обладает рядом ценных свойств [Васильев, 2023].

Выполненные исследования показали, что возможно использование березовой коры в качестве сырья для получения древесностружечных плит [Page et al., 2017], как добавки к биомассе при получении пиллет с целью интенсификации процессов горения [Barmina et al., 2014], либо непосредственно с получением изделий декоративного назначения [Сафина и др., 2023] и пр.

В настоящее время большой интерес проявляется к использованию верхнего слоя коры березы – бересты – в химических технологиях и биотехнологиях. Это обусловлено специфичным химическим составом самой бересты. Химический состав бересты березы как средневзвешенная масса всех гранулометрических фракций составляет: зола – 2,9%, сумма экстрактивных веществ – 17,6% (преобладают гидрофильные экстрактивные вещества), лигнин – 27,9%, гемицеллюлозы – 15,0%, целлюлоза – 22,0%. Углеводный состав коры березы: глюкоза 47,0%, ксилоза 33,8% от суммы нейтральных моносахаридов [Blondeau et al., 2020].

Береста березы содержит разнообразные экстрактивные вещества [Кузнецова и др., 2013]. Особую ценность представляют определенные виды биологических веществ, содержащиеся в коре березы: тритерпены лупанового типа (бетулин, бетулиновая кислота, альдегид бетулина и лупеол), суберин (комплекс липофильного полиэфира, состоящий из длинноцепочечных жирных кислот и глицерина), фенольных соединений, а также более низкие уровни других веществ, таких как углеводороды и их эпоксиды, стероиды, дубильные вещества и флавоноиды [Godiņa et al., 2018].

В настоящее время ведутся исследования по адаптации компонентов березовой коры (субериновые кислоты и экстрактивные вещества на основе бетулина) для их включения в производство фенолформальдегидных смол [Paze et al., 2021], по разработке рецептуры и условий синтеза фенолформальдегидных смол с замещением синтетического фенола лесохимическими фенолами, полученных путем быстрого абляционного пиролиза древесины березы [Valiullina et al., 2022].

Отмечается, что береста березы проявляет антибактериальную, антигрибковую и противовоспалительную активность, обладает гидрофобно-

стью и является антиоксидантом [Jonnalagadda et al., 2017; Scheffler, 2019; Судокова и др., 2023]. Большинство исследователей обосновывают, что данные свойства обусловлены содержанием в коре бетулина и его производных, а также суберина [Hordyjewska et al., 2019; Rizhikovs et al., 2022].

На основании выполненного литературного обзора, можно сделать вывод о том, что использование верхнего слоя коры березы (бересты) совместно с древесным наполнителем при получении ПБС, можно рассматривать как антисептическую и гидрофобизирующую добавку, при этом в условиях пьезотермической обработки данного пресс-сырья, она может выступать дополнительным внутренним источником термореактивного связующего.

Цель и задачи. Целью данной работы являлось получение ПБС на основе березовых опилок методом пьезотермической обработки в герметичной пресс-форме с введением в древесный наполнитель добавки в виде бересты березы в различном соотношении с целью повышения физико-механических свойств и показателей водо- и биостойкости.

Задачи данной работы заключались в изучении физико-механических показателей полученных материалов; в оценке стойкости полученных материалов к биодеструкции; в определении рациональной композиции пресс-сырья с возможностью создания материалов с регулируемым сроком эксплуатации.

Методика исследования. Объектом исследования были образцы ПБС на основе березовых опилок (отходов деревообработки) с добавлением бересты березы (отходы окорочного производства). Исходное сырье подвергалось дополнительному измельчению и фракционированию на сите с размером пор 0,7 мм. Береста перед измельчением подвергалась механической обработке с целью отделения луба. Исходная влажность полученных компонентов пресс-сырья составляла: опилки – 4,9%, береста – 2,5%. С целью изучения влияния морфологического состояния пресс-сырья были получены их микрофотографии при увеличении 1×400 с помощью микроскопа «Микромед».

Для изготовления образцов ПБС, были подготовлены пресс-композиции «опилки / береста» в следующих соотношениях (по массе): №1 – 100 / 0; №2 – 75 / 25; №3 – 50 / 50; №4 – 25 / 75; №5 – 0 / 100. Влажность пресс-сырья композиций принималась 12%.

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

продолжительность прессования – 10 мин, продолжительность охлаждения под давлением – 10 мин.

По завершению кондиционирования полученных образцов в комнатных условиях (24 ч), они подвергались испытаниям на физико-механические свойства: плотность ρ , прочность при изгибе $\sigma_{\text{изг}}$ (ГОСТ 4648-2014), твердость по вдавливанию шарика НВ (ГОСТ 4670-91), модуль упругости при изгибе по прогибу образца-диска $E_{\text{изг}}$ [Артёмов и др., 2021], водопоглощение W и разбухание L (ГОСТ 4650-2014), ударная вязкость A (DIN 51230-1977).

Оценка гидрофобности ПБС осуществлялась по краевому углу смачивания. Определение краевого угла смачивания Θ осуществлялось по методу взвешивания мениска [Мичуров и др., 2023].

Для оценки биостойкости исследуемого материала применялась методика, опирающаяся на ГОСТ Р 57222-2016 «Пластмассы. Методы приготовления образцов для испытания пластмасс на биологическое разложение», включающая следующие этапы:

1. Подготовка образцов с геометрическими размерами $1,5 \times 1 \times 2$ см. Определение их линейных размеров и массы.

2. Подготовка двух видов почвенной среды: почво-грунт (DIN EN ISO 846:2020-11 «Plastics – Evaluation of the action of microorganisms») и активный грунт (по ГОСТ 9.060-75 «Единая система защиты от коррозии и старения. Ткани. Метод лабораторных испытаний на устойчивость к микробиологическому разрушению»). Достигалась единая влажность почвенных субстратов в 60%.

3. Размещение образцов в контейнеры с почвенной средой таким образом, чтобы они были полностью покрыты. Контейнеры на время испытания находились при температуре окружающей среды 20 ± 2 °С.

4. Наблюдение за состоянием образцов в активном грунте осуществлялись через каждые 7 сут., в почво-грунте – через каждые 30 сут. Для оценки состояния образцы извлекались из почвенной среды, очищались от грунта, осушались в течение суток и подвергались измерениям (масса, линейные размеры).

5. По завершению наблюдений (общее время выдержки в почво-грунте составило 90 сут., в активном-грунте – 105 сут.) определялась степень биологического разложения образцов по изменению их массы и линейных размеров относительно исходных значений.

В соответствии с ГОСТ 9.060-75 оценка активности грунта проводится по коэффициенту биологической активности a . Коэффициент активности

активного грунта в ходе выполненных испытаний составил 1,02, что вошло в диапазон требуемых значений.

Результаты всех испытаний были подвергнуты статистической обработке на выявление грубых промахов и определении интервала доверительной вероятности [Глухих и др., 2023].

Результаты и обсуждение. Результаты микрофотографирования исходного пресс-сырья представлены на рис.1. Стоит отметить визуальную и тактильную форму частиц, полученную после измельчения каждого из компонентов: измельченная береста обладала более хрупкой и крупной формой частиц, а измельченные березовые опилки имели волокнистую структуру и в 3-4 раза меньшие размеры частиц, чем у бересты.



Рис. 1. Микрофотографии (1:400) компонентов пресс-сырья:
а) береста; б) березовые опилки

Fig. 1. Micrographs (1:400) of the components of the press raw materials:
a) birch bark; b) birch sawdust

Форма частиц может оказывать влияние на прочностные свойства материала. В общем случае, чем меньше размер частиц, тем лучше они контактируют между собой в процессе прессования и тем выше плотность и прочность получаемого пластика. Если частицы крупные и имеют пластинчатую форму (как в данном случае у бересты), то они образуют слоистую структуру, которая уменьшает физико-механические свойства за счет пустот между слоями. В этом случае из такого пресс-сырья будет формироваться спрессованный брикет с соответствующими эксплуатационными свойствами, а не материал на основе ПБС. Результаты испытаний на физико-механические свойства ПБС на основе различных композиций приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства ПБС
Physical and mechanical properties of PWR

Номер композиции	ρ , кг/м ³	$\sigma_{изг}$, МПа	$E_{изг}$, МПа	НВ, МПа	A , кДж/м ²	W, %	L, %	Θ , °
1	961	5,0	1620	19	1,833	205	14	65,0
2	913	8,9	1400	15	2,391	102	6	70,0
3	909	8,9	1566	17	3,818	32	7	83,0
4	869	6,9	1952	15	2,894	16	2	83,5
5	794	8,2	992	15	3,219	9	1	86,5
Коэффициент аппроксимации R^2	0,917	0,176	0,101	0,500	0,463	0,837	0,849	0,898

На основании табл.1 можно сделать следующие выводы о влиянии содержания бересты в пресс-материале на физико-механические свойства ПБС:

1. Плотность материала. Имеется зависимость от содержания бересты в пресс-композиции на плотность получаемого пластика ($R^2 = 0,917$). При введении добавки в виде фракционированной бересты в древесный наполнитель наблюдается снижение плотности получаемых пластиков. Увеличение содержания количества бересты в пресс-композиции приводит к снижению плотности пластика до 17%. Причиной таких изменений является разница в насыпной плотности самих компонентов пресс-композиций (для древесных опилок она составляла около 220 кг/м³, а бересты – 640 кг/м³), а также в их различной форме и структуры частиц (см. рис. 1).

2. Прочность при изгибе. Отсутствует зависимость от содержания бересты в пресс-композиции на прочность при изгибе получаемого пластика ($R^2 = 0,176$). При анализе поля корреляции, при содержании бересты в композиции до 50%, прочность при изгибе возрастает на 79% (при этом R^2 составляет 0,75). Далее наблюдается тенденция к снижению данного показателя (на 8%). Это свидетельствует о том, что имеется две области: первая область до 50% содержания бересты в пресс-сырье, при которой возможно формировать пластик с высокой прочностью при изгибе; во второй области с увеличением содержанием бересты более 50% не происходит формирования требуемого материала из-за преобладания в композиции частиц бересты (см. рис. 1).

3. Модуль упругости при изгибе (по прогибу образца-диска). Отсутствует зависимость от содержания бересты в пресс-композиции на модуль упругости при изгибе получаемого пластика ($R^2 = 0,101$). Содержание бересты по различным композициям имеет «синусоидальную» зависимость по

модулю упругости при изгибе. На такое отличие свойств упругости при изгибе данных материалов значительное влияние могла оказать неравномерность распределения компонентов пресс-сырья в процессе прессования. При этой неравномерности структуры пластиков с высоким содержанием бересты (75–100%) наблюдалось расслоение пластика по толщине. Также можно объяснить неоднозначность полученных результатов, выбранной методикой испытаний на модуль упругости при изгибе – по прогибу образца-диска под нагрузкой. Во время испытаний усилие прилагается только в центральную часть образца, в которой, из-за плохой смешиваемости, могло быть сосредоточено различное содержание компонентов, что как следствие и привело к различным значениям изучаемого показателя. Можно утверждать о том, что данная методика не применима для ПБС, полученных из различных частиц комбинированного лигноцеллюлозосодержащего сырья.

4. Твердость по Бринеллю. Отсутствует явная зависимость от содержания бересты в пресс-композиции на твердость пластика ($R^2 = 0,500$). Полученные результаты испытаний имеют практически одинаковые показатели, которые могут быть обоснованы тем, что при изучаемых параметрах давления и температуры прессования происходит одинаковое формирование внешней структуры ПБС, т. е. на структуру лицевой поверхности образцов, на основе изучаемых композиций, оказывает значительное влияние сам процесс пьезотермической обработки.

5. Ударная вязкость. Отсутствует явная зависимость от содержания бересты в пресс-композиции на ударную вязкость материала ($R^2 = 0,463$). При этом аналогично наблюдается две области поведения данного свойства: первая область (до 50% содержания бересты в композиции) – происходит увеличение данного показателя на 108% и R^2 достигает 0,940. И вторая область (более 50% бересты), при которой наблюдается фиксирование данного показателя в достигнутых пределах. Насыщение пресс-сырья частицами бересты и, как следствие, увеличение содержания фракции более крупных частиц приводит к повышению ударной вязкости – более прочные целлюлозные волокна внутри каждой частицы позволяют более эффективно выдерживать ударное воздействие.

6. Водопоглощение по объему за 24 часа. Прослеживается явная зависимость от содержания бересты в пресс-композиции на водопоглощение ПБС ($R^2 = 0,837$). Образцы с наибольшим содержанием в композиции березовых опилок обладают наибольшим показателем водопоглощения. Введение добавки бересты значительно влияет на данный показатель: максимальное снижение (на 96%) достигается для пластиков на основе пресс-композиции с содержанием 100% бересты.

7. Разбухание по толщине за 24 часа. Наблюдается явная зависимость от содержания бересты в пресс-композиции на разбухание по толщине исследуемых образцов ($R^2 = 0,849$). Аналогично снижению показателя водопоглощения, введение добавок бересты в пресс-композицию приводит к снижению значений по разбуханию. При содержании данной добавки в пресс-сырье от 25 до 50% разбухание образцов снижается с 55 до 48% соответственно, дальнейшее увеличение содержания добавки приводит к максимальному снижению до 96%.

8. Краевой угол смачивания. Имеется явная зависимость от содержания бересты в пресс-композиции на показатель краевого угла смачивания ($R^2 = 0,898$). Добавление бересты обладающей гидрофобными свойствами в древесное пресс-сырье приводит к увеличению краевого угла смачивания на 7,7–33,1%. Для образцов на основе только бересты значения краевого угла смачивания достигают 86,5°, что может свидетельствовать о практически полной гидрофобизации лицевой поверхности.

Результаты испытаний на биостойкость по отношению к почво-грунту и активному грунту исследуемых ПБС за 90 сут. представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний ПБС на биостойкость

Results of PWR biostability tests

Номер компо- зиции	Почво-грунт, 90 сут				Активный грунт, 105 сут			
	Изменение показателя, %							
	масса	ширина	длина	толщина	масса	ширина	длина	толщина
1	–23	+3	+3	–19	–	–	–	–
2	+7	–3	–2	+57	–15	–9	0	–15
3	–5	–3	+2	+43	–	–	–	–
4	+11	–2	+1	0	+15	–2	+4	+8
5	+1	0	–2	+7	+15	–2	+4	+5
Значения «–» означают, что образец был разрушен в ходе испытаний.								

Наличие и воздействие различных микроорганизмов повлияло на ускоренное разрушение ПБС в активном грунте. Так, например, было обнаружено наличие грибков (белой плесени) на поверхности пластиков при выдержке в активном грунте (рис. 2). Активное размножение белой плесени осуществляется преимущественно на деструктирующей органике.





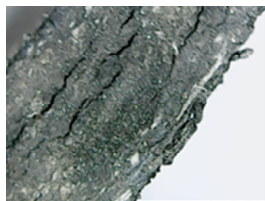
Рис. 2. Микрофотографии (1×400) лицевые поверхности образца ПБС после испытаний на биостойкость:  – распространение белой плесени

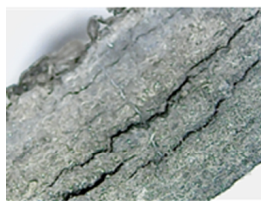
Fig. 2. Micrographs (1×400) of the front surfaces of the PWR sample after biostability tests:  – spread of white mold

Пластики на основе березовых опилок в активном грунте подверглись полной деструкции в первые недели в силу высокой гидрофильности древесного наполнителя и невысоких показателей по водостойкости (см. табл. 1).

Значительной деструкции также были подвержены образцы с содержанием в пресс-сырье до 50% бересты. Основной причиной частичной или полной деструкции таких образцов являлось расслоение – происходил разрыв связей внутри образца (рис. 3). Расслоение материала обуславливалось в первую очередь плохим распределением бересты как компонента в наполнителе и уже последующим гидролитическим воздействием на сам пластик. При этом наблюдалась деструкция большего по гидрофильности компонента – березовых опилок.



а)



б)

Рис. 3. Микрофотографии (1×400) бокового среза образца ПБС после испытаний на биостойкость в активном грунте: а) образец с содержанием в пресс-сырье 75% бересты; б) образец с содержанием в пресс-сырье 100% бересты

Fig. 3. Micrographs (1×400) of the lateral section of the PWR sample after biostability tests in active soil: а) a sample containing 75% birch bark in the press raw materials; б) a sample containing 100% birch bark in the press raw materials

Подобная картина наблюдалась в ходе испытаний образцов на биостойкость по отношению к почво-грунту: преимущественно разрушали образцы с большим содержанием древесного наполнителя. Морфологические изменения образцов после испытания в почво-грунте были аналогичны испытаниям в активном грунте, но с меньшим поражающим эффектом (рис. 4).

При этом наблюдалось интересная особенность – это прорастание корней растений вдоль и сквозь исследуемый материал (рис. 5). Это может говорить о биологической активности самого почвенного субстрата, а также о возможном создании благоприятной среды для развития растений за счет продуктов разрушения ПБС.

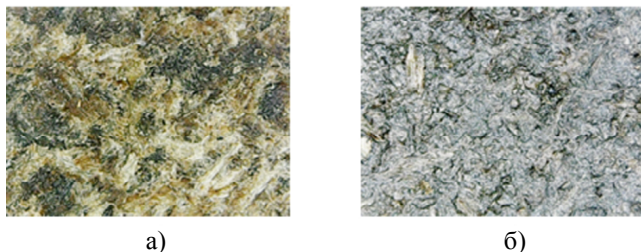


Рис. 4. Микрофотографии (1×400) поверхности образцов до и после испытаний в почво-грунте: а) и б) образцы с содержанием в пресс-сырье 50% бересты до и после испытаний соответственно

Fig. 4. Micrographs (1×400) of the surface of the samples before and after testing in the soil: a) and b) samples containing 50% birch bark in the press raw materials before and after testing, respectively

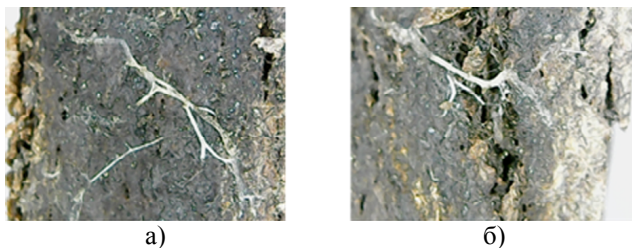


Рис. 5. Микрофотографии (1×400) бокового среза образцов после испытаний в почво-грунте: а) и б) образцы с содержанием в пресс-сырье 50% бересты до и после испытаний соответственно

Fig. 5. Micrographs (1×400) of the lateral section of samples after testing in the soil: a) and b) samples containing 50% birch bark in the press raw materials before and after testing, respectively

Выводы

Установлено, что добавка верхнего слоя коры березы (бересты) к древесному наполнителю при высоком содержании придаёт ее пластикам повышенные показатели водостойкости, но при этом неоднозначно влияет на прочностные показатели.

Анализ данных по прочностным показателям в зависимости от содержания бересты в пресс-сырье показал, что возможно деление данной зависимости на две области: первая – при содержании до 50% добавки и вторая – более 50%. Такая зависимость, вероятно, свидетельствует о том, что при содержании свыше 50% бересты в прессуемом материале отсутствует возможность структурообразования пластика из-за свойств и структуры самой бересты – ее слоистостью и химическим составом (невысоким содержанием лигнина и целлюлозы по сравнению с содержанием его в древесном наполнителе).

Применение бересты при получении ПБС можно рассматривать как гидрофобизирующую добавку для древесного наполнителя. При этом возможно получать не только пластик с водоотталкивающим покрытием (не совершается распределение частиц воды по поверхности материала), но и не допускать проникновению влаги во внутренние слои самого пластика.

В ходе испытаний на биостойкость, было отмечено, что процесс деструкции изучаемых пластиков можно разделить на два вида: 1) образование пористой структуры; 2) это образование слоённой структуры пластиков (рис. 6).



а)



б)

Рис. 6. Микрофотографии (1×400) бокового среза образцов после испытания в почво-грунте: а) образец с пористой структурой (25% бересты); б) образец с слоённой структурой (75% бересты)

Fig. 6. Micrographs (1×400) of the lateral section of samples after testing in the soil: a) a sample with a porous structure (25% birch bark); b) a sample with a layered structure (75% birch bark)

В первом случае основной причиной разрушения пластика является избыточная вода: происходит гидролитическая деструкция полимеров. Во втором случае первоначальное действие оказывают микроорганизмы, которые своими ферментами разрушают матричный компонент пресс-сырья – древесный наполнитель, что приводит к образованию полостей внутри материала.

Стоит отметить, что пластики на основе только бересты обладают высокой биостойкостью как по отношению к почво-грунту, так и активному грунту, пренебрегая как воздействием воды в силу своей высокой гидрофобности, так и воздействием микроорганизмов в силу своих антисептических свойств.

Выбор рациональной композиции определяется в первую очередь по результатам испытаний на физико-механические свойства. Применительно к изучаемым ПБС основными показателями являются прочность при изгибе и водопоглощение (рис. 7).

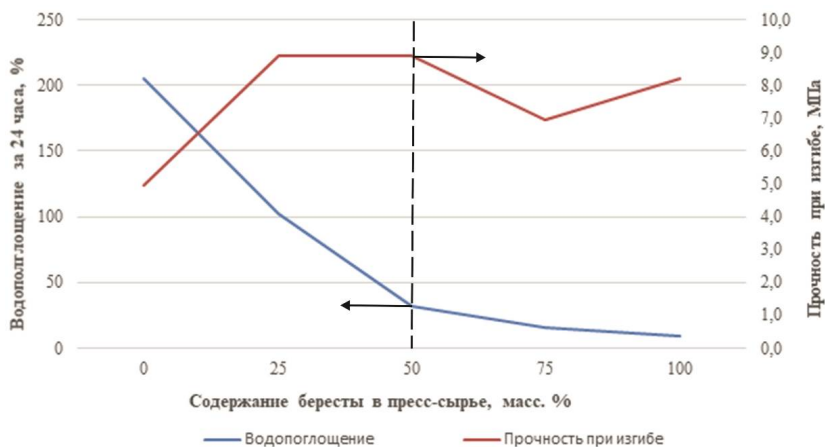


Рис. 7. Зависимость водопоглощения и прочности при изгибе ПБС от содержания в его пресс-сырье добавки бересты

Fig. 7. The dependence of water absorption and bending strength of the PWR on the content of birch bark additives in its press raw materials

Для композиций с добавкой бересты при получении ПБС на основе березовых опилок стоит рассмотреть вариант композиции по 50 масс.% компонентов. Пластики, полученные на основе данной композиции, обладают

высокими прочностными свойствами и способностью к водостойкости и биостойкости в условиях эксплуатации в комнатных условиях, но при этом могут свободно деградировать в условиях внешней окружающей среды.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Артёмов А.В., Еришова А.С., Савиновских А.В. и др. Исследование биоразлагаемости древесных пластиков без добавления связующих на основе древесины берёзы // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 3(55). С. 92–97. DOI: 10.18324/2077-5415-2022-3-92-97.

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. DOI: 10.18324/2077-5415-2021-1-67-71

Базарнова Н.Г., Галочкин А.И., Крестьянников В.С. Влияние гидротермической обработки древесины на свойства древесных прессованных материалов // Химия растительного сырья. 1997. № 1. С. 11–16.

Базарнова Н.Г., Галочкин А.И., Крестьянников В.С. Влияние мочевины на свойства прессованных материалов из древесины, подвергнутой гидротермической обработке // Химия растительного сырья. 1997. № 1. С. 17–21.

Бурындин В.Г., Артёмов А.В., Савиновских А.В. и др. Исследование получения древесных пластиков без добавления связующих на основе древесины лиственных пород в присутствии катализаторов типа полиоксометаллатов // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 2(46). С. 70–75. DOI: 10.18324/2077-5415-2020-2-70-75.

Бурындин В.Г., Бельчинская Л.И., Савиновских А.В. и др. Изучение получения древесных и растительных пластиков без связующих в присутствии катализаторов типа полиоксометаллатов // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8, № 1(29). С. 128–134. DOI: 10.12737/article_5ab0dfc1e37185.35527284.

Васильев В. В. Кора берёзы – ценное сырьё для химической переработки // Древесные плиты и фанера: теория и практика: матер. XXVI Всерос. науч.-практич. конференции, Санкт-Петербург, 21–22 марта 2023 года. СПб.: СПбГЛТУ, 2023. С. 48–52.

Глухих В.В., Шкуро А.Е., Артёмов А.В. и др. Математическое планирование экспериментов и анализ их результатов с применением компьютерных программ: учеб. пособие; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2023. 104 с.

Еришова А.С., Артёмов А.В., Савиновских А.В. и др. Влияние вида сырья на свойства древесных пластиков без добавления связующих // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 3(47). С. 74–80. DOI: 10.18324/2077-5415-2020-3-74-80.

Иванов Д.В., Рябинков А.А., Орехов Е.В. Аспекты изготовления древесноволокнистых плит без использования синтетических смол // Древесные плиты и фанера: теория и практика: матер. XXIV Всерос. науч.-практич. конференции, Санкт-Петербург, 17–18 марта 2021 года. СПб.: Политех-пресс, 2021. С. 79–86.

Криворотова А.И., Эскин В.Д. Исследование способов и режимов переработки шишки сосны сибирской при изготовлении декоративного композиционного материала // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. 40, № 5. С. 430–438. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-5-430-438.

Кузнецова С.А., Кузнецов Б.Н., Скурыдина Е.С. и др. Синтез и свойства биокomпозитных удобрений на основе мочевины и коры березы // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2013. Т. 6, № 4. С. 380–393.

Микрюкова Е.В., Седых М.А. Облегченные древесные плитные материалы с внутренним заполнением из картонных гильз // Деревообрабатывающая промышленность. 2019. № 2. С. 24–30.

Минин А.Н. Технология пьезотермопластиков. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 296 с.

Мичуров Д.М., Шаркова А.С., Шкуро А.Е., Кривоногов П.С. Исследование смазываемости и водопоглощения композитов с полимерной фазой полилактида и опилками бука // Деревообрабатывающая промышленность. 2023. № 3. С. 121–127.

Петри В.Н. и др. Плитные материалы и изделия из древесины и других одресневевших остатков без добавления связующих. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 360 с.

Просвирников Д.Б., Сафин Р.Р., Козлов Р.Р. Оценка влияния условий каталитической непрерывной паровзрывной активации древесины на физико-эксплуатационные свойства плитных древесных композиционных материалов на основе активированных волокон // Деревообрабатывающая промышленность. 2020. № 2. С. 35–49.

Сафина А.В., Зарипов Р.М. Проект производства декоративной щепы из отходов деревообрабатывающего комплекса // Деревообрабатывающая промышленность. 2023. № 2. С. 36–45.

Солечник Н.Я., Наткина Л.Н., Коромыслова Т.С. и др. О получение древесного пластика без связующего // Деревообрабатывающая промышленность. 1963. № 3. С. 15–17.

Судакова И.Г., Гарынцева Н.В., Иванов И.П. и др. Выделение и применение суберина из бересты коры березы // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2012. Т. 5, № 2. С. 168–177.

Artemov A.V., Buryndin V.G., Krivonogov P.S. et al. An Investigation of Complexes of Lignin Found in Plant Raw Materials as a Natural Binder in Obtaining Plastic in Closed Molds // Polym. Sci. Ser. D. 2023. No 16. P. 278–284.

Barmina I. et al. The Effect of Birch-Bark Addition on the Elemental Composition and Combustion Characteristics of Different Types of Biomass Pellets // Chemical engineering. 2014. Vol. 39. P. 1525–1530.

Blondeau D. et al. Antimicrobial activity and chemical composition of white birch (*Betula papyrifera* Marshall) bark extracts // *Microbiologyopen*. 2020. Vol. 9, no. 1. P. e00944.

Godiņa D. et al. Stability studies of bioactive compounds from birch outer bark ethanolic extracts // *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 762. P. 152–157.

Hordyjewska A. et al. Betulin and betulinic acid: Triterpenoids derivatives with a powerful biological potential // *Phytochemistry Reviews*. 2019. Vol. 18. P. 929–951. DOI: 10.1007/s11101-019-09623-1

Jonnalagadda S.C. et al. Recent developments on the synthesis and applications of betulin and betulinic acid derivatives as therapeutic agents // *Studies in Natural Products Chemistry*. 2017. Vol. 53. P. 45–84. DOI: 10.1016/B978-0-444-63930-1.00002-8

Page A. et al. Processing possibilities of birch outer banks into green bio-composites // *Environment. Technologies. Resources: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 2017. Vol. 3. P. 249–253.

Paze A. et al. Development of Plywood Binder by Partial Replacement of Phenol-Formaldehyde Resins with Birch Outer Bark Components // *Key Engineering Materials*. 2021. Vol. 903. P. 229–234.

Rizhikovs J. et al. Characterization of suberinic acids from birch outer bark as bio-based adhesive in wood composites // *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2022. Vol. 112. P. 102989. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2021.102989.

Scheffler A. The wound healing properties of betulin from birch bark from bench to bedside // *Planta medica*. 2019. Vol. 85, no. 07. P. 524–527. DOI: 10.1055/a-0850-0224.

Valiullina A.I., Grachev A.N., Valeeva A.R. et al. The Use of Biopolyols Obtained from Liquid Birch Sawdust Pyrolysis Products as a Renewable Component in the Production of Rigid Polyurethane Foams // *Polymer Science, Series D*. 2022. Vol. 15, no. 2. P. 300–305. DOI: 10.1134/S1995421222020307.

References

Artemov A.V., Buryndin V.G., Krivonogov P.S. et al. An Investigation of Complexes of Lignin Found in Plant Raw Materials as a Natural Binder in Acquiring Plastic in Closed Molds. *Polym. Sci. Ser. D.*, 2023, no. 16, pp. 278–284.

Artemov A.V., Savinovskikh 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, no. 1(49), pp. 67–71. DOI: 10.18324/2077-5415-2021-1-67-71. (In Russ.)

Artyomov A.V., Ershova A.S., Savinovskikh A.V. et al. Investigation of biodegradability of wood plastics without the addition of binders based on birch wood. *Systems. Methods. Technologies*, 2022, no. 3(55), pp. 92–97. DOI: 10.18324/2077-5415-2022-3-92-97. (In Russ.)

Barmina I. et al. The Effect of Birch-Bark Addition on the Elemental Composition and Combustion Characteristics of Different Types of Biomass Pellets. *Chemical engineering*, 2014, vol. 39. pp. 1525–1530.

Bazarnova N.G., Galochkin A.I., Krestyanikov V.S. The influence of hydrothermal wood processing on the properties of pressed wood materials. *Chemistry of vegetable raw materials*, 1997, no. 1, pp. 11–16. (In Russ.)

Bazarnova N.G., Galochkin A.I., Krestyanikov V.S. The influence of urea on the properties of pressed materials from wood subjected to hydrothermal treatment. *Chemistry of vegetable raw materials*, 1997, no. 1, pp. 17–21. (In Russ.)

Blondeau D. et al. Antimicrobial activity and chemical composition of white birch (*Betula papyrifera* Marshall) bark extracts. *Microbiologyopen*, 2020, vol. 9, no. 1, p. e00944.

Buryndin V.G., Artemov A.V., Savinovskikh A.V. et al. Investigation of the production of wood plastics without the addition of binders based on hardwood in the presence of catalysts such as polyoxometallates. *Systems. Methods. Technologies*, 2020, no. 2(46), pp. 70–75. DOI: 10.18324/2077-5415-2020-2-70-75. (In Russ.)

Buryndin V.G., Belchinskaya L.I., Savinovskikh A.V. et al. The study of the production of wood and vegetable plastics without binders in the presence of catalysts such as polyoxometallates. *Forestry Journal*, 2018, vol. 8, no. 1(29), pp. 128–134. DOI: 10.12737/article_5ab0dfc1e37185.35527284. (In Russ.)

Ershova A.S., Artemov A.V., Savinovskikh A.V. et al. The influence of the type of raw materials on the properties of wood plastics without the addition of binders. *Systems. Methods. Technologies*, 2020, no. 3(47), pp. 74–80. DOI: 10.18324/2077-5415-2020-3-74-80. (In Russ.)

Glukhikh V.V., Shkuro A.E., Artyomov A.V. et al. Mathematical planning of experiments and analysis of their results using computer programs: textbook / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural State Forestry University. Yekaterinburg: Ural State Forestry University, 2023. 104 p. (In Russ.)

Godiņa D. et al. Stability studies of bioactive compounds from birch outer bark ethanolic extracts. *Key Engineering Materials*, 2018, vol. 762, pp. 152–157.

Hordyjewska A. et al. Betulin and betulinic acid: Triterpenoids derivatives with a powerful biological potential. *Phytochemistry Reviews*, 2019, vol. 18, pp. 929–951. DOI: 10.1007/s11101-019-09623-1

Ivanov D.V., Ryabinkov A.A., Orekhov E.V. Aspects of manufacturing fiberboard without the use of synthetic resins. *Wood slabs and plywood: theory and practice: materials of the XXIV All-Russian Scientific and Practical Conference*, St. Petersburg, March 17–18, 2021. St. Petersburg: Polytech Press, 2021, pp. 79–86. (In Russ.)

Jonnalagadda S.C. et al. Recent developments on the synthesis and applications of betulin and betulinic acid derivatives as therapeutic agents. *Studies in Natural Products Chemistry*, 2017, vol. 53, pp. 45–84. DOI: 10.1016/B978-0-444-63930-1.00002-8

Krivorotova A.I., Eskin V.D. Investigation of methods and modes of processing Siberian pine cones in the manufacture of decorative composite material. *Coniferous boreal zones*, 2022, vol. 40, no. 5, pp. 430–438. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-5-430-438. (In Russ.)

Kuznetsova S.A., Kuznetsov B.N., Skurydina E.S. et al. Synthesis and properties of biocomposite fertilizers based on urea and birch bark. *Journal of the Siberian Federal University. Series: Chemistry*, 2013, vol. 6, no. 4, pp. 380–393. (In Russ.)

Michurov D.M., Sharkova A.S., Shkuro A.E., Krivonogov P.S. Investigation of wettability and water absorption of composites with polymer polylactide phase and beech sawdust. *The woodworking industry*, 2023, no. 3, pp. 121–127. (In Russ.)

Mikryukova E.V., Sedykh M.A. Lightweight wood slab materials with internal filling from cardboard sleeves. *The woodworking industry*, 2019, no. 2, pp. 24–30. (In Russ.)

Minin A.N. Technology of piezothermoplastics. M.: Forest industry, 1965. 296 p. (In Russ.)

Page A. et al. Processing possibilities of birch outer banks into green biocomposites. *Environment. Technologies. Resources: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, 2017, vol. 3, pp. 249–253.

Paze A. et al. Development of Plywood Binder by Partial Replacement of Phenol-Formaldehyde Resins with Birch Outer Bark Components. *Key Engineering Materials*, 2021, vol. 903, pp. 229–234.

Petri V.N. et al. Slab materials and products made of wood and other desalinated residues without the addition of binders. M.: Forest industry, 1976. 360 p.

Prosvirnikov D.B., Safin R.R., Kozlov R.R. Assessment of the influence of conditions of catalytic continuous steam-explosive activation of wood on the physical and operational properties of slab wood composite materials based on activated fibers. *The woodworking industry*, 2020, no. 2, pp. 35–49. (In Russ.)

Rizhikovs J. et al. Characterization of suberinic acids from birch outer bark as bio-based adhesive in wood composites. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2022, vol. 112, p. 102989. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2021.102989.

Safina A.V., Zaripov R.M. The project of production of decorative chips from waste of a woodworking complex. *The woodworking industry*, 2023, no. 2, pp. 36–45. (In Russ.)

Scheffler A. The wound healing properties of betulin from birch bark from bench to bedside. *Planta medica*, 2019, vol. 85, no. 07, pp. 524–527. DOI: 10.1055/a-0850-0224.

Solechnik N.Ya., Natkina L.N., Koromyslova T.S. et al. On the production of wood plastic without binder. *Woodworking industry*, 1963, no. 3, pp. 15–17. (In Russ.)

Sudakova I.G., Garyntseva N.V., Ivanov I.P. et al. Isolation and application of suberin from birch bark bark. *Journal of the Siberian Federal University. Series: Chemistry*, 2012, vol. 5, no. 2, pp. 168–177. (In Russ.)

Valiullina A.I., Grachev A.N., Valeeva A.R. et al. The Use of Biopolyols Obtained from Liquid Birch Sawdust Pyrolysis Products as a Renewable Component in the Production of Rigid Polyurethane Foams. *Polymer Science, Series D*, 2022, vol. 15, no. 2, pp. 300–305. DOI: 10.1134/S1995421222020307.

Vasiliev V.V. Birch bark is a valuable raw material for chemical processing. *Wood slabs and plywood: theory and practice: materials of the XXVI All-Russian Scientific and Practical Conference*, St. Petersburg, March 21–22, 2023. St. Petersburg: SPbGLTU, 2023, pp. 48–52. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 22.12.2023

Артёмов А.В., Власов Н.Г., Ершова А.С., Вураско А.В., Бuryндин В.Г.
Влияния содержания бересты в пресс-сырье на свойства пластика без связующих на основе березовых опилок // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 250. С. 333–352. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.333-352

Были получены образцы пластика без связующего (ПБС) на основе древесного наполнителя с различным соотношением бересты березы. Образцы ПБС прессовались в герметичной пресс-форме под давлением 40 МПа и температуре 180 °С с последующим ее охлаждением без снятия давления до 40 °С. У полученных образцов были исследованы показатели плотности, прочности при изгибе, модуля упругости при изгибе, твердости по Бринеллю, ударной вязкости, водопоглощения и разбухания за 24 ч, биостойкости по отношению к почво-грунту за 90 суток и активному грунту за 105 суток. Также осуществлялась оценка гидрофобности по краевому углу смачивания. На основании полученных результатов испытаний было установлено рациональное соотношение пресс-композиции на основе березовых опилок с добавлением бересты 50%. При данном соотношении достигаются следующие показатели материала: плотность – 909 кг/м³; модуль упругости – 1566 МПа; прочность при изгибе – 8,9 МПа; твердость по Бринеллю – 17 МПа; ударная вязкость – 3,818 кДЖ/м²; водопоглощение за 24 ч – 32%; разбухание – 7%. Выявлена зависимость роста биостойкости ПБС с увеличением содержания бересты в пресс-материале, что объясняется ее высокой гидрофобностью и антисептическими свойствами.

Ключевые слова: пластик, опилки березы, береста, лигнин, физико-механические свойства, водопоглощение, биостойкость, почво-грунт, активный грунт.

Artyomov A.V., Vlasov N.G., Ershova A.S., Vurasko A.V., Buryndin V.G.
Influence of birch bark content in press raw materials on the properties of birch sawdust-based plastic without resins. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2024, iss. 250, pp. 333–352 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.333-352

Samples of plastic without resin (PWR) were produced using a wood filler with varying proportions of birch bark. The PWR samples were pressed in a sealed mold under a pressure of 40 MPa and at a temperature of 180 °C, followed by cooling without pressure release until reaching 40 °C. The resulting samples underwent testing for density, flexural strength, flexural modulus of elasticity, Brinell hardness, impact toughness, water absorption, and swelling after 24 hours. Additionally, biostability was assessed in soil for 90 days and in active soil for 105 days. Hydrophobicity was also evaluated based on the contact angle. Based on the test results, the optimal composition ratio for the press material was determined using birch sawdust with a 50% addition of birch bark. At this ratio, the material exhibited the following

properties: density – 909 kg/m³, modulus of elasticity – 1566 MPa, flexural strength – 8.9MPa, Brinell hardness – 17 MPa, impact toughness – 3.818 kJ/m², water absorption in 24 hours – 32%, and swelling – 7%. A correlation was found between increased birch bark content in the press material and enhanced biostability, attributed to its high hydrophobicity and antiseptic properties.

Keywords: plastic, sawdust, birch bark, lignin, physical-mechanical properties, water absorption, biostability, soil, active soil.

АРТЁМОВ Артём Вячеславович – доцент кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета, кандидат технических наук, доцент.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: artemovav@m.usfeu.ru

ARTYOMOV Artyom V. – PhD (Technical), Associate Professor of the department technology of pulp and paper industries and polymer processing of the Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: artemovav@m.usfeu.ru @yandex.ru

ВЛАСОВ Николай Геннадьевич – магистр кафедры технологии органического синтеза химико-технологического института Уральского федерального университета.

620062, ул. Мира, д. 28, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: sierra146888@gmail.com

VLASOV Nicolay G. – master student of department technology of pulp and paper industries and polymer processing of the Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: sierra146888@gmail.com

ЕРШОВА Анна Сергеевна – ассистент кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: ershovaas@m.usfeu.ru

ERSHOVA Anna S. – assistant of department technology of pulp and paper industries and polymer processing of the Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: ershovaas@m.usfeu.ru

ВУРАСКО Алеся Валерьевна – профессор кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета, доктор технических наук.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: vuraskoav@m.usfeu.ru

VURASKO Alesya V. – DSc (Technical), Professor of the department technology of pulp and paper industries and polymer processing of the Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: vuraskoav@m.usfeu.ru @yandex.ru

БУРЫНДИН Виктор Гаврилович – профессор кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета, доктор технических наук.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: buryndinv@m.usfeu.ru

BURYNDIN Victor G. – DSc (Technical), Professor of the department technology of pulp and paper industries and polymer processing of the Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: buryndinv@m.usfeu.ru