

Влияние вида сырья на свойства древесных пластиков без добавления связующих

А.С. Ершова^a, А.В. Артемов^b, А.В. Савиновских^c, В.Г. Буриндин^d

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

^a ershovaas@m.usfeu.ru, ^b artemovav@m.usfeu.ru, ^c savinovskihav@m.usfeu.ru, ^d buryndinvg@m.usfeu.ru

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

^c <https://orcid.org/0000-0001-7303-4912>, ^d <https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>

Статья поступила 01.09.2020, принята 11.09.2020

В различных отраслях лесной, лесоперерабатывающей, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности вопросы рационального использования древесного сырья решаются путем его комплексной переработки, а именно путем организации практически безотходного производства с полной утилизацией всех образующихся древесиносодержащих отходов. Проведены исследования качества различных видов сырья по следующим показателям: текучесть материала по Рашигу, предел текучести, влажность пресс-материала, модуль упругости, текучесть по методу деформирования плоского образца, водопоглощение, разбухание, pH и выделение формальдегида. Данные показатели были определены для различных видов сырья, таких как отходы деревообработки, шлифовальная пыль ДСтП, шлифовальная пыль фанеры, древесная мука, лигнин, сосновые и березовые опилки. Определено, что из всех видов сырья наилучшими показателями качества сырья обладают древесные отходы деревообработки, которые имеют примесь коры. Утилизация отхода, такого как древесная кора, считается одним из основных вопросов в комплексном использовании древесного сырья. Пригодность коры для различных видов производств зависит от химического состава и физико-механических свойств. Кора хвойных деревьев отличается большим содержанием экстрактивных веществ, целлюлозы, золы и пентозанов. Объектом исследования являлись древесные пластики без добавления связующего (ДП-БС) на основе отходов деревообработки и коры сосны. При выполнении работы изучалось влияние фракционного состава и процентного содержания коры сосны в составе пресс-композиции на физико-механические и эксплуатационные свойства ДП-БС. В результате выполнения работы методом прессования в лабораторных условиях был получен ДП-БС на основе отходов деревообработки и коры сосны, оценены его физико-механические свойства. Найденные регрессионные зависимости свойств пресс-сырья от содержания в ней коры сосны и древесного опила. Определено оптимальное содержание коры сосны в композите, позволяющее получать материал с оптимальными физико-механическими свойствами, пригодными для использования.

Ключевые слова: древесные пластики; отходы производства; отходы деревообработки; сосновая кора.

Influence of the raw material type on the properties of wood plastics without adding binders

A.S. Ershova^a, A.V. Artyomov^b, A.V. Savinovskih^c, V.G. Buryndin^d

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

^a ershovaas@m.usfeu.ru, ^b artemovav@m.usfeu.ru, ^c savinovskihav@m.usfeu.ru, ^d buryndinvg@m.usfeu.ru

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

^c <https://orcid.org/0000-0001-7303-4912>, ^d <https://orcid.org/0000-0001-6900-3435>

Received 01.09.2020, accepted 11.09.2020

In various branches of the forestry, timber processing, woodworking and pulp and paper industries, the rational use of wood raw materials is solved by its complex processing, namely, by organizing a practically waste-free production with full utilization of all generated wood-containing waste. Studies of the quality of various types of raw materials have been carried out according to the following indicators: material Raschig flow, yield stress, press material moisture, elastic modulus, flat sample yield, water absorption, swelling, pH and formaldehyde release. These indicators have been determined for various types of raw materials, such as woodworking waste, chipboard sanding dust, plywood sanding dust, wood flour, lignin, pine and birch sawdust. It has been determined that of all types of raw materials, the best indicators of the quality of raw materials are dominated by wood waste from wood processing, which has an admixture of bark. Disposal of waste, such as bark, is one of the most important problems in the integrated use of wood raw materials. The suitability of bark for various types of production depends on factors such as chemical composition and physical and mechanical properties. The bark of coniferous trees is distinguished by a high content of extractives, cellulose, ash and pentosans. The object of the study is wood plastics without resins (WP-WR) based on wood processing waste and pine bark. When performing the work, the influence of the fractional composition and percentage of pine bark in the composition of the press composition on the physical, mechanical and operational properties of WP-WR was studied. As a result of performing the work by pressing in the laboratory, WP-WR was obtained on the basis of woodworking waste and pine bark, and its physical and mechanical properties were evaluated. Regression dependences of the properties of press raw materials on the content of pine bark and sawdust in it have been found. The optimal content of

pine bark in the composite has been determined, which makes it possible to obtain a material with optimal physical and mechanical properties suitable for use.

Keywords: wood plastics; industrial waste; woodworking waste; pine bark.

Введение. Древесный пластик без добавления связующего (ДП-БС) возможно получить при использовании видов сырья, содержащих в своей структуре целлюлозу, лигнин и гемицеллюлозы [1–3]. Но при этом сырье должно быть дешевым, легко транспортируемым и т. п. От выбора сырья для производства ДП-БС также будут зависеть технологические и эксплуатационные свойства готовых изделий. При этом должна решаться одна из главных экологических проблем — рациональное использование природных ресурсов.

Исходя из анализа сырья, предполагаемого к переработке в ДП-БС, объема производства, и должен разрабатываться технологический процесс и подбор оборудования.

Объектом исследования явились различные виды сырья, которые в больших количествах либо используются, либо образуются в виде отходов в лесной, деревообрабатывающей, гидролизной и целлюлозно-бумажной промышленности:

- отходы деревообработки — опилки, стружки, пыль, образующиеся в основном в лесопильной и деревообрабатывающей промышленности;
- шлифовальная пыль ДСтП. Образуется при шлифовании древесно-стружечных плит;
- шлифовальная пыль фанеры. Образуется в производстве фанеры;
- гидролизный лигнин (ЛГ). Получается в качестве остатка от гидролиза растительного сырья;
- древесная мука. Является древесным наполнителем и служит основным сырьем для производства фенопластов.

Все указанные виды сырья, кроме древесной муки, являются непосредственно отходами про-

изводства, которые не находят должного применения.

Методика исследования. Были исследованы следующие виды сырья:

- отходы деревообработки (ОДО);
- сосновый опил (СО);
- березовый опил (БО);
- шлифовальная пыль ДСтП (ШП-ДСтП);
- шлифовальная пыль фанеры (ШП-Ф);
- гидролизный лигнин (ЛГ);
- древесная мука (ДМ).

Из вышеприведенного сырья были получены образцы в форме дисков диаметром 30 мм при температуре 175–185 °С и давлении 35 МПа.

Технологические показатели исходного пресс-сырья и эксплуатационные свойства ДП-БС свойства приведены в табл. 1.

Проведенные исследования показали, что большой плотностью обладают пластики из ДМ, ШП-ДСтП и ШП-Ф (табл. 1). Это связано с гранулометрическим составом композиции, т. е. чем меньше размер частиц материала, тем больше его плотность. Прочностные показатели и водостойкость ДП-БС зависят от плотности материала — ДП-БС образуется тогда, когда его плотность более 1 150 кг/м³ [4]. При меньшей плотности образуется только спрессованный брикет.

Наихудшие показатели водопоглощения у изделий на основе ОДО, СО, БО — 69; 81; 58 % соответственно. Наилучшие показатели у образцов на основе ЛГ и ШП-ДСтП — 10 и 33 % соответственно. Высокая водостойкость ДП-БС на основе ЛГ объясняется тем, что лигнин является ароматическим полимером, придающий гидрофобность [5; 6].

Таблица 1. Технологические и эксплуатационные свойства ДП-БС из различных видов сырья

ДП-БС на основе	ДП-БС на основе:						
	ОДО	ШП-ДСтП	ШП-Ф	ДМ	ЛГ	БО	СО
Показатель pH сырья	4,69	5,12	5,43	4,45	3,01	6,60	5,73
Плотность, кг/м ³	1 300	1 480	1 380	1 520	1 140	954	1 180
Модуль упругости (г), ГПа	0,45	0,67	0,93	0,61	0,61	0,77	0,52
Модуль упругости (х), ГПа	0,98	2,10	1,82	1,78	3,97	1,02	0,53
Предел текучести, МПа	1,5	1,3	1,8	1,7	1,0	1,5	1,6
Текучесть по Рашигу, мм	15	11	6	8	48	29	7
Текучесть по МДО, мм	77	78	68	70	86	75	74
Водопоглощение за 24 ч, %	69	33	36	38	10	58	81
Разбухание по толщине за 24 ч, %	54	56	35	41	5	51	91
Выделение формальдегида из сырья, мг/100 г	7,6	39,9	0,4	4,7	8,6	6,8	11,4
Выделение формальдегида из ДП-БС, мг/100 г	7,2	14,7	4,2	–	5,6	8,2	25,0

Примечание: (г) — модуль упругости определен после распрессовки образца;
(х) — модуль определен после кондиционирования

Определение модуля упругости (как одного из прочностных показателей материала) проводилось на горячих и на холодных образцах. Модуль упругости на горячих образцах показывает прочность материала, а на холодных — степень отверждения материала (данный показатель является косвенным) [7]. Образцы на основе ДМ, ШП-Ф и ШП-ДСтП обладают примерно одинаковыми показателями модуля упругости, что объясняется высокой плотностью материала. Соответственно, ДП-БС на основе ДМ и ШП-Ф имеют наибольшие показатели сопротивлению сдвигу.

Текучесть по методу деформирования плоского образца (МДО) у лигнина лучше, чем у других материалов. Это объясняется наличием большого количества остаточных кислот в лигнине ($pH = 3,01$), образовавшихся в результате гидролиза древесины.

Практически у всех материалов очень низкая текучесть по Рашигу. Низкая текучесть не обеспечивает более полное заполнение пресс-формы. Для придания повышенной текучести пресс-материалу необходимо использование модификаторов [8].

Наименьшее количество формальдегида из исходного сырья выделяется из ШП-Ф, и все показатели выделения формальдегида из всех видов сырья соответствуют классу токсичности Е-1 (выделение формальдегида < 10 мг/100 абс.с.п.) [9]. Исключением является шлифовальная пыль ДСтП (выделение формальдегида соответствует классу токсичности Е-3), что обусловлено гидролизом полностью или частично отвержденной смолы под влиянием температуры и влаги из окружающей среды [9]. Такая же картина наблюдается и в ДП-БС: наименьшее количество формальдегида выделяется в пластиках на основе ШП-Ф.

Наилучшими показателями физико-механических свойств обладает пластик, полученный на основе ДМ (по плотности, модулю упругости, сопротивлению сдвигу, выделению формальдегида из сырья). Но при этом ДМ нельзя считать отходом производства. ДМ — это дорогой, специально изготавливаемый продукт, отвечающий определенным требованиям [10].

Тем более при ее производстве, ДМ подвергается значительному тепловому и механическому воздействию, что не может сказаться на свойствах получаемых пластиков [10].

Поскольку в процессе нагрева древесины ее химический состав и свойства изменяются, необходимо обращать внимание на породу древесины и на то, подвергалась ли она термической обработке и при каких режимах.

Например, опил от пилорамы при разделке бревен на сортимент не подвергается термическому воздействию, а опил, образующийся при механической обработке бруса и доски, был термооб-

работан при сушке. Еще большему температурному воздействию подвергался отсев стружек, используемых для получения древесностружечных плит. ШП-Ф и ШП-ДСтП подвергались термическому воздействию дважды: при сушке сырья и при прессовании фанеры или ДСтП.

При нагревании древесины из нее выделяются кислоты (в частности, органические — уксусная и муравьиная) [5; 6]. Количество удаляющихся кислот зависит от температуры нагрева и породы древесины.

Как показано выше, кислоты оказывают благоприятное воздействие на процесс образования и свойства ДП-БС. Следовательно, удаление части кислот из древесины до начала ее пьезотермической обработки в пресс-форме отрицательно скажется на качестве получаемого пластика [2].

Лигнин является в основном отходом гидролизных производств. В настоящее время разработан ряд технологий, позволяющих утилизировать этот вид отхода [11; 12], в том числе и получение лигно-древесного пластика [2]. Значение pH лигнина равно 3,01, и чем выше кислотность, тем выше текучесть пресс-материала и тем лучше физико-механические показатели пластика. Высокой кислотностью исходного сырья и объясняется самый высокий показатель текучести. Проведенными ранними исследованиями [2] предлагается использовать лигнин в сочетании с древесным наполнителем. Поэтому необходимо рассматривать лигнин как модификатор, т. е. как реагент, который способен придавать те или иные свойства как исходному пресс-сырью (текучесть), так и готовому изделию (водостойкость) [2].

ДП-БС на основе ШП-ДСтП, обладая по ряду свойств неплохими показателями, не может быть рекомендована для получения изделий, поскольку обладает повышенной токсичностью, и тем самым изготовление изделий ДП-БС на основе ШП-ДСтП предполагается экологически и санитарно-опасным.

Хорошим сырьем для получения ДП-БС можно считать ШП-Ф. Токсичность сырья низкая, модуль упругости при изгибе образцов в 2 раза выше, чем у ОДО, и водостойкость также высокая. Но к существенным недостаткам можно отнести то, что это сырье образуется только в местах производства фанерных плит, проблематично его концентрирование в связи с несовершенством аспирационных и пылеулавливающих устройств промышленных предприятий, при этом древесный шпон подвергается термообработке получения фанеры.

Пластики из ОДО и СО обладают сравнительно одинаковыми свойствами, и это объясняется тем, что в деревообработке в большинстве используются хвойные породы древесины. В свою очередь,

отличные свойства пластиков из ОДО и СО от пластиков из БО объяснимо различным химическим составом хвойных и лиственных пород древесины [5; 6], который и предопределяет свойства ДП-БС [13; 14]. В общем же, свойства пластиков, полученных из древесного наполнителя, ниже по сравнению с пластиками на основе ДМ, ГЛ и ШП-Ф. Однако дешевизна, масштабы образования и универсальность древесного наполнителя позволяют изыскивать альтернативные пути совершенствования и повышения качества ДП-ПС, полученных из этого сырья.

Таким образом, из всех видов сырья, возможного для получения ДП-БС, преобладают древесные отходы деревообработки.

При производстве изделий на основе древесных отходов основное значение приобретают свойства, характерные лишь для самих отходов. Для кусковых отходов характерны свойства исходной цельной древесины, мягкие отходы отличаются специфическими свойствами.

Одно из свойств связано с гранулометрическим составом, к которому предъявляются определенные требования.

Для получения ДП-БС предполагается использовать отходы деревообработки — мелкие (опил, пыль) или крупные, кусковые, которые вначале измельчают.

Предполагается применять фракции опила менее 1,4 мм, общее содержание которых составляет порядка 92 % [15–16].

При распиловке исходной неокоренной древесины получаемый опил имеет примесь коры, содержание которой зависит от фракции опилок. Содержание коры в опилках, полученных на лесопильной раме, возрастает с увеличением размера фракции опилок.

Пригодность коры для различных видов производства зависит в первую очередь от химического состава и ее физико-механических свойств. Кора хвойных деревьев отличается большим содержанием экстрактивных веществ, лигнина, золы и пентозанов [16].

Результаты определения лигнина и целлюлозы в коре сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*): целлюлоза — 18 %, лигнин — 58,6 % (для примера, сосновый опил отходов деревообработки: 27 и 32,5 % соответственно).

Высокое содержание лигнина [17] в коре дает основание для исследования физико-механических свойств ДП-БС полученного из отходов деревообработки с примесью коры.

Исследование выполнялось с использованием регрессионного двухфакторного математического планирования полного факторного эксперимента [18].

В качестве независимых факторов были приняты:
– содержание сосновой коры Z_1 : 10÷30 %;
– фракционный состав пресс-композиции Z_2 : 0,7÷1,4 мм.

В качестве выходных параметров принимались следующие физико-механические свойства: $Y(P)$ — плотность, $г/см^3$; $Y(\Pi)$ — прочность при изгибе, МПа; $Y(T)$ — твердость по Бринеллю, МПа; $Y(B)$ — водопоглощение за 24 ч, %; $Y(L)$ — разбухание по толщине за 24 ч, %; $Y(A)$ — ударная вязкость, $кДж/м^2$.

В соответствии с принятой матрицей планирования эксперимента методом плоского горячего прессования были изготовлены образцы-диски. Условия получения образцов ДП-БС и их характеристика представлены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристика и условия изготовления ДБ-БС на основе отходов деревообработки и коры сосны

Наименование	Единица измерения	Показатель
Влажность исходного пресс-сырья	%	12
Диаметр образцов	мм	90
Толщина образцов	мм	2
Температура прессования	°C	180
Давление прессования	МПа	40
Время прессования	мин	10
Время охлаждения под давлением	мин	10
Время кондиционирования	ч	24

Таблица 3. Результаты испытаний на физико-механические свойства ДБ-БС на основе отходов деревообработки и коры сосны

Физико-механические свойства					
$Y(P)$, г/см ³	$Y(\Pi)$, МПа	$Y(T)$, МПа	$Y(B)$, %	$Y(L)$, %	$Y(A)$, кДж/м ²
1046	13,3	56	110	9,0	0,9
1201	18,1	46	41	4,0	1,3
1079	12,7	72	141	13,0	0,7
1205	18,3	45	50	13,0	1,4

После кондиционирования образцы подвергались испытаниям на физико-механические свойства (табл. 3).

Используя регрессионный анализ, были получены экспериментально-статистические модели зависимости свойств ДП-БС в виде полинома второй степени с линейными и смешанными эффектами факторов [18]. По результатам регрессионного анализа были получены следующие уравнения регрессии:

$$\begin{aligned}
 - Y(P) &= 1253,33 - 2,09 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,03 \cdot Z_1^2 - 75,517 \cdot Z_2^2 \\
 - Y(\Pi) &= 19,96 - 0,001 \cdot Z_1^2 - 4,11 \cdot Z_2^2 + 0,07 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \\
 - Y(T) &= 43,2 - 0,99 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,02 \cdot Z_1^2 + 20,9 \cdot Z_2^2 \\
 - Y(B) &= 30,85 + 0,04 \cdot Z_1^2 + 78,23 \cdot Z_2^2 - 3,33 \cdot Z_1 \cdot Z_2
 \end{aligned}$$

$$- Y(L) = 2,775 - 0,4 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,005 \cdot Z_1^2 + 7,7 \cdot Z_2^2$$

$$- Y(A) = 1,49 + 0,03 \cdot Z_1 \cdot Z_2 - 0,0007 \cdot Z_1^2 - 70,53 \cdot Z_2^2$$

На основании адекватных уравнений регрессии были выполнены графические поверхности зависимости прочности при изгибе (рис. 1) и водопоглощения (рис. 2) ДП-БС от содержания коры и фракционного состава пресс-сырья.

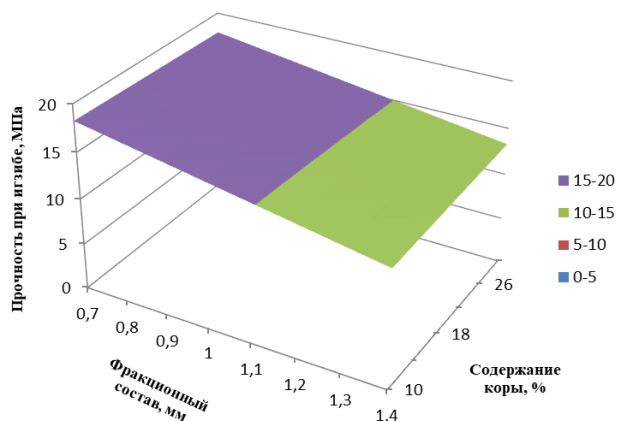


Рис. 1. Поверхность зависимости прочности при изгибе

Исходя из полученной поверхности (рис. 1), можно сделать вывод о том, что при увеличении фракционного состава прочность при изгибе снижается до 12,7 МПа.

При минимальном значении содержания коры (10 %) и максимальном значении фракционного состава (1,4 мм) наибольшее водопоглощение составляет 141 %. А при максимальном значении содержания коры (30 %) и минимальном значении

фракционного состава (0,7 мм) водопоглощение уменьшается до 41 %.

С помощью метода нелинейной оптимизации [18] по полученным уравнениям регрессии для заданных параметров была подобрана наиболее рациональная рецептура для ДП-БС на основе отходов деревообработки и коры сосны. Исходные данные, ограничения и результаты проведенной оптимизации приведены в табл. 4.

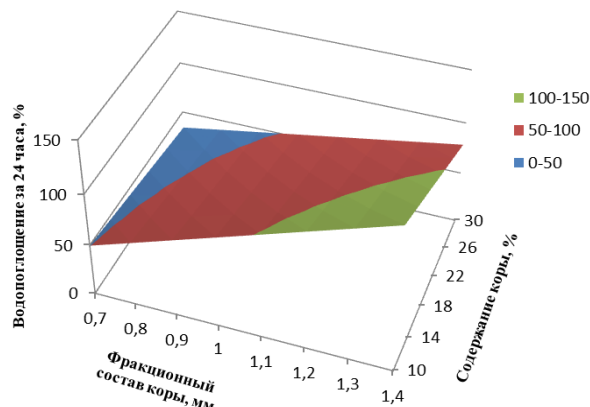


Рис. 2. Поверхность зависимости водопоглощения

Ограничения по оптимизации приняты исходя из условий максимальных прочностных показателей (прочности при изгибе и твердости) и минимальных показателей водопоглощения и разбухания.

Используя полученные уравнения регрессии, были определены расчетные значения физико-механических свойств образцов ДП-БС при рациональных условиях (табл. 5).

Таблица 4. Оптимизация получения ДП-БС на основе отходов деревообработки и коры сосны

Целевая функция	Условие	Ограничения	Рациональные условия	
			Содержание сосновой коры в пресс-композиции, %	Фракционный состав пресс-композиции, мм
Прочность при изгибе $Y(\Pi)$, МПа	$Y(\Pi) \rightarrow \max$	$10 \leq Z_1 \leq 30$ $0,7 \leq Z_2 \leq 1,4$	25	0,7
Водопоглощение за 24 ч $Y(B)$, %	$Y(B) \rightarrow \min$	$10 \leq Z_1 \leq 30$ $0,7 \leq Z_2 \leq 1,4$	29	0,7

Таблица 5. Расчетные свойства ДП-БС при оптимальной рецептуре при заданной целевой функции

Физико-механические свойства	Расчетные значения при заданной целевой функции	
	$Y(\Pi)$	$Y(B)$
Модуль упругости при изгибе, МПа	5420	2371
Прочность при изгибе, МПа	18,5	12,8
Твердость, МПа	72	47
Водопоглощение за 24 ч, %	36	36
Разбухание по толщине за 24 ч, %	12,8	2,6
Ударная вязкость, кДж/м ²	1,4	0,8

С целью подтверждения полученных теоретических условий получения ДП-БС с рациональными физико-механическими свойствами был вы-

полнен эксперимент при данных условиях. Полученные образцы ДП-БС при рациональных условиях были испытаны на определение физико-

механических свойств. Результаты экспериментальные данных и их сопоставление с расчетными представлены в табл. 6.

Достигнутые значения физико-механических свойств образцов ДП-БС, полученных по опти-

мальной рецептуре, в целом совпадают с прогнозируемыми. Таким образом, подтверждается значительная достоверность описания экспериментально-статистическими моделями полученных в результате исследования данных.

Таблица 6. Физико-механические свойства ДП-БС при рациональной рецептуре

Физико-механические свойства	Y(П)→max					Y(B)→min																		
	Значение																							
	сп	ер	и	ме	нт	ал	бн	сх	о	ж	де	ни	сп	ер	и	ме	нт	ал	бн	сх	о	ж	де	ни
Модуль упругости при изгибе, МПа	2164					60					2114					11								
Прочность при изгибе, МПа	16,6					10					11,2					13								
Твердость, МПа	71,2					1					47,6					0								
Водопоглощение за 24 ч, %	32					11					39					-11								
Разбухание по толщине за 24 ч, %	12,2					5					2,8					-8								
Ударная вязкость, кДж/м ²	1,3					7					0,9					-13								

Заключение. Полученные результаты выполненной работы позволяют сделать следующие выводы.

1. Из всех видов рассматриваемого сырья, возможного для получения ДП-БС, с учетом стоимости древесного сырья, объемов образования и приемлемых технологических параметров производства и физико-механических свойств готовых изделий, преобладают древесные отходы деревообработки.

2. Свойства ДП-БС зависят от фракционного состава отходов деревообработки, а также от содержания в них коры, которая, в свою очередь, содержит определенное количество лигнина, достаточного для получения ДП-БС.

3. С уменьшением размеров фракционного со-

става пресс-сырья (опила, коры) увеличиваются прочностные показатели готовых изделий ДП-БС. Это объясняется увеличением удельной поверхности частиц древесины и коры, которые участвуют в процессе прессования.

4. С увеличением содержания сосновой коры в исходном пресс-сырье увеличиваются показатели водостойкости готовых материалов. Это может быть объяснено с тем, что вещества, присутствующие в коре древесины, придают гидрофобные свойства готовым пластикам.

5. Показано, что возможно получение с приемлемыми физико-механическими свойствами ДП-БС на основе отходов деревообработки в виде опила с добавлением коры сосновой.

Литература

1. Плитные материалы и изделия из древесины и других одресневевших остатков без добавления связующих / под ред. В.Н. Петри. М.: Лесная пром-сть, 1976. 360 с.
2. Минин А.Н. Технологии пьезотермопластиков. М.: Лесная пром-сть, 1965. 296 с.
3. Катраков И.Б. Древесные композиционные материалы без синтетических связующих: монография. Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2012. 164 с.
4. Артёмов А.В., Бурындин В.Г., Дедюхин В.Г., Глухих В.В. Зависимость прочности при изгибе и водопоглощения от плотности древесного пластика без связующего // Технология древесных плит и пластиков: межвузовский сб. науч. тр. Екатеринбург: Уральский гос. лесотехнический ун-т, 2004. С. 24–31.
5. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров: учеб. для вузов. СПб.: СПбЛТА, 1999. 628 с.
6. Кононов Г.Н. Химия древесины и ее основных компонентов: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 1999. 247 с.
7. Ставров В.П., Дедюхин В.Г., Соколов А.Д. Технология испытания реактопластов. М.: Химия, 1981. 248 с.
8. Савиновских А.В., Артемов А.В., Бурындин В.Г. Влияние модификаторов на физико-механические свойства древесных пластиков без добавления связующих // Лесной вестн. Вестн. Московского гос. ун-та леса. 2016. Т. 20. № 3. С. 55–59.
9. Отлев И.А. Справочник по производству древесностружечных плит. М.: Лесная пром-сть, 1990. 384 с.
10. ГОСТ 16362-84. Мука древесная. Методы испытаний. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999, 17 с.
11. Арбузов В.В. Композиционные материалы из лигниновых веществ. М.: Экология, 1991. 209 с.
12. Опра Д.П., Гнеденков С.В., Синяевых С.Л., Цветников А.К., Сергиенко В.И. Высокоэнергоемкие литиевые источники тока на основе гидролизного лигнина // Вестн. Дальневосточного отд-ния Рос. академии наук. 2012. № 2 (162). С. 111–116.
13. Бурындин В.Г., Бельчинская Л.И., Савиновских А.В., Артёмов А.В., Кривоногов П.С. Изучение получения древесных и растительных пластиков без связующих в присутствии катализаторов типа полиоксометаллатов // Лесотехнический журн. 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 128–134.
14. Бурындин В.Г., Артемов А.В., Савиновских А.В., Шкуро А.Е. 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.
15. Борков П.В., Мелконян В.Г. Эффективные строительные материалы на основе отходов деревопереработки и металлургической промышленности // Фундаментальные исследования. 2014. № 3–1. С. 18–21.
16. Филичкина М.В., Абрамов В.В., Самошин Д.С., Фролов Г.А. Особенности опилок как наполнителя при производ-

стве материалов из древесных отходов // Лесотехнический журн. 2013. № 2 (10). С. 26–30.

17. Савиновских А.В., Артемов А.В., Бурьин В.Г. Закономерности образования древесных пластиков без добавления связующих с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии // Вестн. Казанского технологического ун-та. 2012. Т. 15. № 3. С. 37–40.
 18. Глухих В.В. Прикладные научные исследования: учеб. Екатеринбург: Уральский гос. лесотехн. ун-т, 2016. 240 с.
- References*
1. Plitnye materialy i izdeliya iz drevesiny i drugih odresneevshih ostatkov bez dobavleniya svyazuyushchih / pod red. V.N.Petri. - M.: Lesnaya promyshlennost', 1976. 360 p.
 2. Minin A.N. Tekhnologiya p'ezotermoplastikov / A.N.Minin. M.: Lesnaya promyshlennost', 1965. 296 p.
 3. Katrakov I.B. Drevesnye kompozicionnye materialy bez sinteticheskikh svyazuyushchih: monografiya / I.B. Katrakov. – Barnaul : Izd-vo Alt. un-ta, 2012. 164 s.
 4. Zavisimost' prochnosti pri izgibe i vodopogloshcheniya ot plotnosti drevesnogo plastika bez svyazuyushchego / Artyomov A.V., Buryndin V.G., Dedyuhin V.G., Gluhih V.V. // Tekhnologiya drevesnyh plit i plastikov: Mezhvuz.sb. – Ekaterinburg, UGLTU, 2004. – s. 24–31
 5. Azarov V.I. Himiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov: Uchebnyk dlya vuzov / V.I.Azarov, A.V.Burov, A.V. Obolenskaya. – SPb: SPbLTA, 1999. – 628 s.
 6. Kononov G.N. Himiya drevesiny i eyo osnovnykh komponentov: Uchebnoe posobie dlya studentov special'nostej 2602.00, 2603.00 / G.N.Kononov – M.: MGUL, 1999. – 247 s.
 7. Stavrov V.P., Dedyuhin V.G., Sokolov A.D. Tekhnologiya ispytaniya reaktoplastov. M.: Himiya, 1981. 248 s.
 8. Vliyanie modifikatorov na fiziko-mekhanicheskie svoystva drevesnyh plastikov bez dobavleniya svyazuyushchih / Savinovskih A.V., Artyomov A.V., Buryndin V.G. // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik. 2016. T. 20. № 3. S. 55–59.
 9. Spravochnik po proizvodstvu drevesnostruzhechnykh plit / I.A. Otlev [i dr.]. M.: Lesnaya promyshlennost', 1990–384 s.
 10. GOST 16362-84. Muka drevesnaya. Metody ispytaniy/ M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 1999, 17 s.
 11. Arbuzov V.V. Kompozicionnye materialy iz ligninykh veshchestv / V.V.Arbuzov. M.: Ekologiya 1991, 209 s.
 12. Vysokoenergoemkie litievye istochniki toka na osnove gidroliznogo lignina / Opra D.P., Gnedenkov S.V., Sinebryuhov S.L., Cvetnikov A.K., Sergienko V.I. // Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. 2012. № 2 (162). S. 111–116.
 13. Izuchenie polucheniya drevesnykh i rastitel'nykh plastikov bez svyazuyushchih v prisutstvii katalizatorov tipa polioksometallov / V.G. Buryndin, L.I. Bel'chinskaya, A.V. Savinovskih, A.V. Artyomov, P.S. Krivonogov // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2018. T. 8. № 1 (29). S. 128–134.
 14. Issledovanie polucheniya drevesnykh plastikov bez dobavleniya svyazuyushchih na osnove drevesiny listvennykh porod v prisutstvii katalizatorov tipa polioksometallov / Buryndin V.G., Artyomov A.V., Savinovskih A.V., SHkuro A.E. // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2020. № 2 (46). S. 70–75.
 15. Effektivnye stroitel'nye materialy na osnove othodov derevopererabotki i metallurgicheskoy promyshlennosti / Borkov P.V., Melkonyan V.G. Fundamental'nye issledovaniya. 2014. № 3-1. S. 18–21.
 16. Osobennosti opilok kak napolnitelya pri proizvodstve materialov iz drevesnykh othodov / Filichkina M.V., Abramov V.V., Samoshin D.S., Frolov G.A. // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2013. № 2 (10). S. 26–30.
 17. Savinovskih A.V. Zakonomernosti obrazovaniya drevesnykh plastikov bez dobavleniya svyazuyushchih s ispol'zovaniem differencial'noj skaniruyushchej kalorimetrii / A.V. Savinovskih, A.V. Artyomov, V.G. Buryndin // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2012. T. 15. № 3. S. 37–40.
 18. Prikladnye nauchnye issledovaniya: uchebnyk / V.V. Gluhih. – Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2016 – 240 s.