
РАЗРАБОТКА КЛЕЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ И ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

УДК 674.815

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ОКОРКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНЫХ ПЛИТ

Т.Н. Вахнина,

канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО КГТУ, г. Кострома, РФ.
t_vachnina@mail.ru

А.К. Боровкова, студ., ФГБОУ ВПО КГТУ
aniaborovkova@mail.ru

О.М. Мазаева, инж., г. Кострома

На современном этапе развития российской экономики формируется тенденция перехода от продажи сырьевых ресурсов к их углубленной переработке [4, 8, 9]. Национальное богатство – древесину нерационально поставлять на экспорт в виде сырья, это тормозит развитие отечественных перерабатывающих предприятий. Использование всех частей древесины для производства конкурентоспособной продукции не только повысит коэффициент ее использования, но и будет стимулом развития производства новых видов материалов.

Исследование возможности использования отходов окорки для производства древесных композиционных плит послужит не только повышению коэффициента использования древесного сырья, но и расширению ассортимента отечественных плит [10, 11]. Решение данной задачи является актуальным для экономики в целом.

В процессах обработки древесины образуется большое количество коры, которая утилизируется в основном путем сжигания [6, 10, 13]. Такое положение нельзя назвать удовлетворительным, проблеме использования коры необходимо решать в рамках повышения полезного использования древесины.

В настоящее время во всем мире рассматриваются возможности экологически безопасной утилизации отходов окорки древесины. Канадские исследователи разработали плиты, на 70 % состоящие из коры. Подтолкнули их к этой разработке участвовавшие акции движения «зеленых» против сжигания огромного количества отходов, образующихся при окорке древесины.

В прошлом нашей стране и за рубежом в основном разрабатывались древесные плиты с добавкой коры теплоизоляционного назначения [7]. В последнее время формируется тенденция использования для наружной отделки таких материалов, как кора пробкового дерева, натуральная древесина с дефектами. С учетом этого, возможно использование плит с наружными слоями из коры в интерьере и деталях мебельных изделий. Это позволит использовать отходы окорки не на топливные нужды, а на производство конкурентоспособных плит, уменьшить выбросы в атмосферу, создать новые возможности для дизайнерских решений в области интерьера и изделий из древесины.

Данные плиты должны обладать необходимым комплексом эстетических и эксплуатационных свойств. Существующие зарубежные аналоги плитных материалов из коры [10], включая кору пробковых деревьев, имеют при хороших эстетических показателях низкую прочность и высокую стоимость.

Использование в качестве лигноцеллюлозной составляющей только коры не придаст материалу необходимых прочностных показателей. Сложности производства плит из коры обусловлены тем, что ее физико-механические свойства отличаются от показателей древесины, частицы коры плохо склеиваются карбамидоформальдегидным связующим между собой и с частицами древесины [1, 5, 13]. В плитах-аналогах, разработанных канадскими учеными, использованы методы химической обработки частиц коры для активации природных связующих, содержащихся в коре. Однако разработанные короплиты обладают только декоративными свойствами, они имеют физико-механические показатели, позволяющие использовать их как декоративные или теплоизоляционные.

Использование в качестве древесной составляющей специальной стружки и частиц коры в наружных слоях может обеспечить как прочностные, так и декоративные показатели плитного материала. Сложности разработки композита из древесных частиц и частиц коры обусловлены тем, что частицы имеют разные физико-механические показатели и плохо склеиваются друг с другом.

В пробковых клетках между прослойками суберина находится воск, обеспечивающий непроницаемость клеточных стенок для воды и газов [13]. С одной стороны, это уменьшает впитываемость связующего в частицы коры, с другой – затрудняет выход парагазовой смеси при прессовании материала.

Используемое при производстве композита связующее должно нивелировать эти особенности целлюлозных материалов и быть достаточно дешевым, чтобы материал был конкурентоспособным.

В процессе прессования многофазная система, состоящая из древесины, коры, связующего, воды (в древесных частицах и связующем) и воздуха (в частицах древесины и коры и порах стружечного брикета) в результате сложных реакций, протекающих под действием температуры и давления, преобразуется в материал с совершенно иными физико-механическими свойствами. Свойства эти зависят от породы древесины, вида и количества дискретных древесных частиц (а, следовательно, и от плотности изготавливаемого материала), вида и количества связующего и его распределения между слоями, вида и количества используемых добавок, влажности и ее распределения по слоям, от степени сближения древесных частиц, вида адгезионного взаимодействия между древесиной и связующим [6].

На процессы структурообразования материала факторы влияют не обособлено, а во взаимосвязи, образуя синергические эффекты [11]. Часто эффекты взаимодействия факторов сопоставимы в численном выражении с воздействиями отдельных факторов.

Процесс образования материала основан на переходе связующего в неплавкое и нерастворимое состояние, при этом возникают адгезионные связи между отвержденным связующим и частицами коры и древесными частицами. Требуемые прочностные и другие эксплуатационные характеристики материала могут быть достигнуты путем сочетания высокой адгезионной прочности связующего и древесных частиц и частиц коры и необходимой пространственной структуры отвержденного связующего. Вид связующего определяет в числе прочих факторов эксплуатационные показатели материала [2, 5, 6, 7].

На кафедре МТД КГТУ были изготовлены декоративные древесно-стружечные плиты с наружными слоями из коры. В качестве связующего была использована карбомидоформальдегидная смола (КФС).



а
б
Рис. Плита с наружными слоями из коры: а – пробкового дерева; б – сосны

Результаты статистической обработки показателей плит с декоративным покрытием представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты статистической обработки показателей плит с наружными слоями из коры

Статистические характеристики	Предел прочности при изгибе σ_n , МПа	Разбухание ДСтП по толщине за 2 ч, %	Разбухание плит по толщине, %
Среднее арифметическое \bar{Y}	13,34	27,31	33,01
Среднее квадратическое отклонение S	1,56	1,45	1,44
Коэффициент вариации V	11,69	5,31	4,34

Плиты с наружными слоями с добавлением пробковой крошки декоративны, могут использоваться под прозрачную отделку. К их преимуществам можно отнести то, что плиты могут изготавливаться по технологии производства ДСтП промышленным способом. Однако их физико-механические показатели не полностью соответствуют требованиям, предъявляемым нормативной документацией к древесно-стружечным плитам. Изготовленные декоративные плиты с наружными слоями с добавлением частиц пробки имеют среднюю прочность при статическом изгибе, соответствующую прочности древесно-стружечных плит [3], но структура плит слабая, а разбухание по толщине за 24 ч. значительно превышает требования к данному показателю для ДСтП, даже для марки П-Б.

Анализ результатов обработки экспериментальных данных позволил сделать вывод, что использование КФС для производства плит с наружными слоями из коры не дает возможности создать композит с хорошим балансом физико-механических показателей. Для создания более прочной структуры композита можно использовать фенолоформальдегидное связующее (ФФС). Для оценки взаимосвязи показателей композиционных плит с наружными слоями из коры было проведено экспериментальное исследование (по полному факторному плану). Выходные величины: Y_1 – прочность плит при статическом изгибе, МПа; Y_2 – прочность плит на отрыв наружного слоя, МПа; Y_3 – разбухание плит по толщине за 24 ч пребывания в воде, %. Диапазоны варьирования факторов представлены в табл. 2. Результаты статистической обработки экспериментальных данных представлены в табл. 3.

Таблица 2

Диапазоны варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначения уровней варьирования		Уровни варьирования			Интервал варьирования Δ_i
	Натуральные	Кодированные	-1	0	+1	
Температура прессования, °С	T	X ₁	180	190	200	10
Продолжительность прессования, мин	τ'	X ₂	0,5	0,55	0,6	0,05
Доля коры в наружных слоях, %	D _к	X ₃	0,2	0,35	0,5	0,15

Таблица 3

План эксперимента и результаты обработки экспериментальных данных

№ опыта	X ₁	X ₂	X ₃	\bar{Y}_1	S ₁ ²	\bar{Y}_2	S ₂ ²	\bar{Y}_3	S ₃ ²
1	+	+	+	12,88	0,208	0,85	0,331	30,24	34,975
2	-	+	+	13,5	0,144	0,64	0,075	20,87	44,223
3	+	-	+	11,68	13,191	0,4	0,020	19,33	50,481
4	-	-	+	14,52	7,656	0,41	0,011	24,88	103,083
5	+	+	-	15,93	0,026	0,69	0,058	32,53	21,725
6	-	+	-	20,59	4,219	0,96	0,102	21,65	79,317
7	+	-	-	13,24	0,077	0,95	0,134	18,05	24,295
8	-	-	-	16,58	0,982	1,11	0,022	23,09	25,745

По результатам статистической обработки экспериментальных данных были получены регрессионные математические модели показателей плит с наружными слоями из коры сосны (в кодированных обозначениях факторов):

$$Y_1 = 14,87 - 1,43X_1 + 0,86X_2 - 1,72X_3 + 0,11X_1X_2 + 0,57X_1X_3 - 0,82X_2X_3,$$

$$Y_2 = 0,75 - 0,03X_1 + 0,03X_2 - 0,18X_3 + 0,01X_1X_2 + 0,08X_1X_3 + 0,14X_2X_3,$$

$$Y_3 = 23,83 + 1,21X_1 + 2,49X_2 + 3,85X_1X_2 - 0,25X_1X_3 - 0,77X_2X_3.$$

Анализ регрессионных моделей и графических зависимостей позволил сделать следующие выводы:

- Доля коры в наружных слоях оказывает наибольшее влияние на прочность при статическом изгибе, следующий по значимости фактор – температура прессования.
- При возрастании температуры прессования и доли коры в наружных слоях прочность при статическом изгибе будет убывать, а при возрастании продолжительности прессования прочность при статическом изгибе будет возрастать, это объясняется тем что для ФФС требуется большая продолжительность прессования для углубления степени поликонденсации связующего.
- Эффект взаимодействия факторов «температура прессования» и «доля добавки коры» направлен на возрастание прочности при статическом изгибе, если эти факторы находятся одновременно на верхнем или нижнем уровнях, и убывание при других сочетаниях факторов.
- Эффект взаимодействия факторов «продолжительность прессования» и «доля добавки коры» направлен на убывание прочности при статическом изгибе, если эти факторы находятся одновременно на верхнем или нижнем уровнях.
- Доля коры в наружных слоях оказывает наибольшее влияние на прочность при отрыве наружного слоя, эффект взаимодействия факторов продолжительность прессования и доля коры в наружных слоях – второй по значимости фактор.
- При возрастании доли коры в наружных слоях и температуры прессования прочность при отрыве наружного слоя будет убывать, а при возрастании продолжительности прессования прочность при отрыве наружного слоя будет возрастать.
- При изменении доли коры в наружных слоях на 0,15 прочность при отрыве наружного слоя изменится на 0,18%. При максимальной доле добавки коры снижается прочность на отрыв наружных слоев.

Технологические рекомендации. При максимальном значении температуры прессования (для данного диапазона варьирования) и минимальной удельной продолжительности прессования прочность плит при статическом изгибе будет превышать 13 МПа, прочность при нормальном отрыве наружных слоев будет больше 0,8 МПа, разбухание по толщине будет менее 20 % (показатели, регламентируемые нормативной документацией – ГОСТ 10632–2007). Все три показателя будут обеспечиваться при минимальной доле добавки коры в наружные слои.

Результаты исследования позволяют рекомендовать следующее сочетание технологических факторов процесса производства плит с наружными слоями из коры: температура прессования $T=180^{\circ}\text{C}$ ($X_1 = -1$); удельная продолжительность прессования $\tau' = 0,5$ мин/мм ($X_2 = -1$); доля коры в наружных слоях $D_k = 0,2$ ($X_3 = -1$). При этом будут обеспечены следующие значения физико-механических показателей: прочность при статическом изгибе $\sigma_{и} = 16,91$ МПа; прочность при отрыве наружных слоев $\sigma_{отр} = 0,81$ МПа; разбухание по толщине за 24 ч $P_h = 20,13$ %.

К преимуществам данного направления использования коры можно отнести снижение выбросов в атмосферу от сжигания отходов окорки. Однако, следует отметить, что высокие эксплуатационные показатели достигаются только при использовании в качестве связующего ФФС, а это значительно увеличивает время прессования, а значит – и стоимость композитов.

Другим возможным направлением использования отходов окорки является добавление экстракта коры (предпочтительнее – коры ели) в качестве модифицирующей добавки к КФС при производстве древесно-стружечных плит. Суть направления работы – в инициации природных связующих, содержащихся в коре. В состав коры входят экстрактивные вещества, в числе которых \square танины (таннины), которые могут быть извлечены из древесины и коры путем экстракции водой или органическими растворителями.

Несмотря на то, что таннины, образующиеся в различных растениях, сильно отличаются друг от друга по химическому строению, все они имеют некоторые общие признаки. В молекулах всех растительных дубильных веществ, строение которых изучено, имеются фенольные соединения. В частности, в состав таннидов входят такие многоатомные фенолы, как пирокатехин, резорцин, гидрохинон, пирогаллол, флюороглуцин, а также фенолкарбоновые кислоты (галловая, эллаговая и др). Все таннины являются производными многоатомных фенолов, то есть полифенолами. Следовательно, можно встроить их в структуру связующего.

В исследовании были получены регрессионные модели показателей плит с добавкой экстракта коры. Исследование проводилось по В-плану второго порядка. Выходные величины в эксперименте: Y_1 – прочность плит при статическом изгибе $\sigma_{и}$, МПа; Y_2 – разбухание плит по толщине за 2 ч $P_{h\ 2\ ч}$, %; Y_3 – разбухание плит по толщине за 24 ч $P_{h\ 24\ ч}$, %. Регрессионные математические модели показателей плит (в кодированном обозначении факторов):

$$Y_1 = 17,958 + 1,891X_1 + 3,231X_2 + 1,358X_3 - 2,168X_1^2 + 0,887X_2^2 + 0,777X_3^2 + 0,608X_1X_2 + 0,544X_1X_3 + 0,390X_2X_3;$$

$$Y_2 = 16,128 + 1,000X_1 - 2,200X_2 + 0,800X_3 + 4,878X_1^2 + 0,878X_2^2 + 2,122X_3^2 - 0,5X_1X_2 - 0,75X_1X_3 + 0,500X_2X_3;$$

$$Y_3 = 19,714 + 0,713X_1 - 3,199X_2 + 0,832X_3 + 5,414X_1^2 + 0,524X_2^2 + 0,231X_3^2 - 0,211X_1X_2 - 0,109X_1X_3 + 0,824X_2X_3.$$

Анализ математических моделей позволил разработать технологические рекомендации для производства ДСтП с модифицирующей добавкой экстракта таннинов. Значения показателей, вычисленных по математическим моделям (при рекомендуемом сочетании факторов процесса производства): $\sigma_{и} = 13,86$ МПа, $P_{h\ 2\ ч} = 16,57$ %, $P_{h\ 24\ ч} = 23,7$ %. Результаты испытаний образцов, изготовленных по рекомендуемым режимам: $\sigma_{и} = 14,59$ МПа, $P_{h\ 2\ ч} = 17,05$ %, $P_{h\ 24\ ч} = 19,9$ %. Добавка экстракта таннинов позволяет уменьшить время прессования плит при сохранении необходимых эксплуатационных показателей ДСтП.

Таким образом, в данной работе предложены технологические разработки плит с наружными слоями из коры и с добавкой экстракта природных связующих, содержащихся в коре древесины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине / под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 296 с.
2. Вахнина Т.Н. Формирование свойств древесных плитных материалов для использования в строительных конструкциях // Строительные материалы. – 2009. – № 6. – С. 10–12.
3. ГОСТ 10632–2007. Плиты древесностружечные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2007. – 12 с.
4. Древесные плиты: теория и практика: Десятая научно-практическая конференция. 21–22 марта 2007 г. – СПб.: СПбГЛТА, 2007. – 132 с.
5. Кондратьев В.П., Кондрашенко В.И. Синтетические клеи для древесных материалов. – М.: Научный мир, 2004. – 520 с.
6. Мелони Т. Современное производство древесностружечных и древесноволокнистых плит: пер. с англ. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 416 с.
7. Мельникова Л.В. Технология композиционных материалов из древесины. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: МГУЛ, 2004. – 234 с.

8. Передерий П. Ф. Современное состояние лесопромышленного комплекса России и концепция его развития в период до 2020 г. // *Деревообрабатывающая промышленность*, 2008. – № 3. – С. 2–6.
9. Состояние и перспективы развития лесопромышленного комплекса России в XXI веке: материалы III международного форума «Лес и человек». Рациональное использование лесных ресурсов. – М., 2006. – 124 с.
10. Титунин А.А., Каравайков В.М., Вахнина Т.Н. Эколого-экономические аспекты безотходных технологий переработки лесных ресурсов. – М.: Новые технологии, 2007. – 60 с.
11. Титунин А.А. Ресурсосбережение в деревообрабатывающей промышленности. Организационно-технические аспекты: монография. – Кострома: Изд-во Костромского гос. технол. ун-та, 2008. – 141 с.
12. Эльберт А.А. Химическая технология древесностружечных плит. – М.: Лесная промышленность, 1984. – 224 с.
13. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М: МГУЛ, 2001. – 340 с.

УДК 674.815

ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С ДОБАВКОЙ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Т.Н. Вахнина,

канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО КГТУ, г. Кострома, РФ.
t_vachnina@mail.ru.

А.А. Крылов, студ., ФГБОУ ВПО КГТУ

Рассмотрен вариант решения проблемы утилизации бытовых отходов полиэтиленовой тары. Предложен способ решения данной проблемы путем переработки отходов в древесно-полимерные композиционные плиты. В качестве метода исследования использован регрессионный анализ. Получены математические модели зависимостей прочности плит при статическом изгибе, разбухания по толщине за 2 ч и 24 ч от температуры прессования, удельной продолжительности прессования, фракционного размера добавляемых измельченных отходов полиэтиленовой тары.

Проблема переработки отходов полимерных материалов в настоящее время приобретает актуальное значение, как с позиций охраны окружающей среды, так и в связи с увеличивающимся дефицитом первичного полимерного сырья. Существуют различные способы решения данной проблемы: сжигание отходов, захоронение, добавка в небольших количествах к первичному полимерному сырью. Сжигание полимерной тары негативно влияет на экологию, в захоронениях отходы разлагаются в течение 50...100 лет, добавка отходов к первичному сырью ухудшает показатели полимера. В работе предлагается один из технически возможных вариантов решения проблемы – производство древесно-полимерных композитов, состоящих из древесных частиц и измельченных полиэтиленовых отходов с добавкой полимерного связующего.

Целью исследования является разработка структуры и технологических факторов процесса производства плитных композиционных материалов с добавкой бытовых полиэтиленовых отходов. Композиционные плиты могут использоваться как в мебельном производстве, так и в строительстве. Данные направления использования плитных материалов предъявляют определенные требования к эксплуатационным характеристикам плит, в числе которых – прочностные показатели и обеспечение необходимой степени водостойкости [4].

Из двух задач – обеспечения необходимой прочности и повышения водостойкости древесных композиционных плит, более сложной является задача снижения гигроскопичности материала. Гигроскопичность данного композита обуславливается древесной составляющей. В работе была выдвинута гипотеза, что для нового вида композита возможно повышение водостойкости путем технологических воздействий на полимерную составляющую плиты.

Полиэтилен имеет недостаточную механическую прочность, но это не может послужить препятствием к разработке древесно-полимерного композиционного материала, поскольку прочность будет обеспечиваться древесным наполнителем. Однако этот же древесный наполнитель одновременно является и носителем гидрофильных свойств [4, 6]. Одной из основных задач работы является обеспечение эксплуатационных показателей разрабатываемого материала, отвечающих требованиям нормативной документации, предъявляемым к композиционным плитным материалам. Ввиду отсутствия аналогов разрабатываемого материала. в качестве нормативной документации использовались требования, предъявляемые к древесно-стружечным плитам.

Являясь инертным наполнителем, полиэтилен не создаст прочную структуру с высокими физико-механическими показателями. Необходимо уменьшить размер мономерных звеньев, разрушив часть связей в макромолекуле механически (дроблением) или растворителем полимера. Механическое дробление является наиболее простым.