

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.

В исследованиях, проводимых на кафедре МТД КГТУ, проводится разработка древесно-полимерных композитов с использованием ФФС с добавкой измельченных отходов полиэтиленовой тары.

Можно использовать следующие возможности создания древесно-полимерного композита: с использованием фенолоформальдегидного связующего (ФФС), с использованием карбаминоформальдегидного связующего (КФС), без полимерного связующего по технологии древесных пластиков без связующего. Использование ФФС позволяет вести прессование при температуре, близкой к температурному интервалу плавления полиэтилена, что позволит создать прочную пространственную структуру [2].

Однако здесь возникают следующие проблемы: слишком низкая температура прессования не позволит расплавить полиэтиленовую крошку, слишком высокая приведет к термодеструкции древесной составляющей композита. Фотографии структуры композита, сделанные с помощью микроскопа МБС-10, представлены на рис. 1, 2.

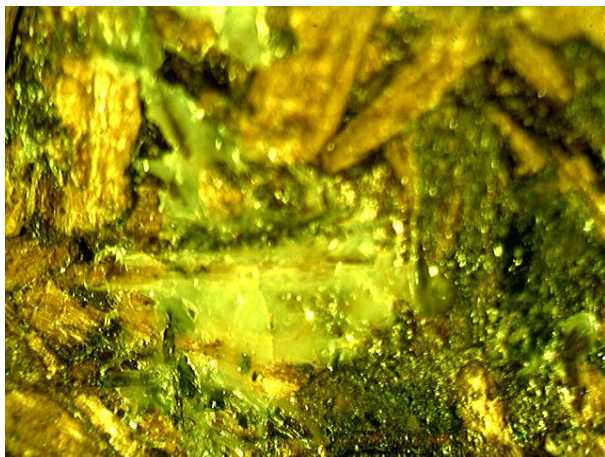


Рис. 1. Структура композита с добавкой измельченных полиэтиленовых отходов (температура прессования 210 °С)

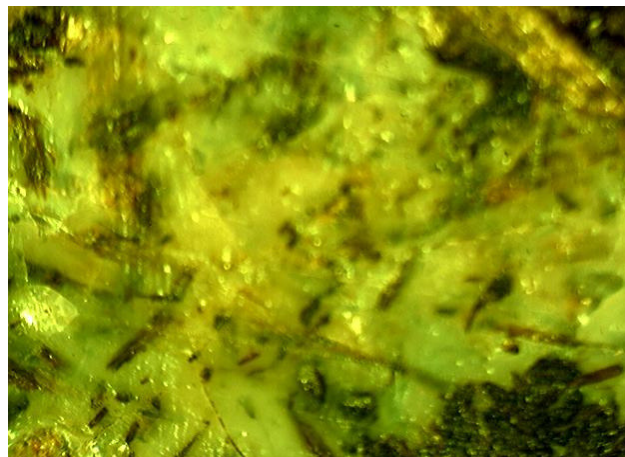


Рис. 2. Структура композита с добавкой измельченных полиэтиленовых отходов (температура прессования 270 °С)

Видно, что при температуре 210 °С частицы полиэтилена остаются нерасплавленными, композит имеет разбухание по толщине 25...28 % (сопоставимо с показателем для древесно-стружечных плит). Материал, изготовленный при температуре 270 °С (рис. 2), содержит полностью расплавленный полиэтилен и обугленные древесные частицы. Результаты его испытаний – высокая водостойкость, но низкая прочность при статическом изгибе. Для разработки рекомендаций по значениям факторов процесса производства композита было проведено экспериментальное исследование.

В качестве метода эксперимента был использован регрессионный анализ, в частности, В-план второго порядка. Выходные величины: Y_1 – прочность плит при статическом изгибе, МПа; Y_2 и Y_3 – разбухание плит по толщине за 2 ч и 24 ч пребывания в воде, %. Диапазоны варьирования факторов представлены в табл. 1, план эксперимента и результаты определения статистических показателей в точках плана – в табл. 2.

Таблица 1

Диапазоны варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение фактора		Уровни варьирования			Интервал варьирования, Δ_i
	Натуральное	Кодированное	-1	0	+1	
1. Температура прессования плит, °С	T	X_1	210	230	250	20
2. Удельная продолжительность прессования, мин/мм	τ'	X_2	0,45	0,525	0,6	0,075
3. Средний фракционный размер отходов, мм	p	X_3	1,15	1,725	2,3	0,575

В результате обработки экспериментальных данных получены регрессионные модели показателей композитов (в кодированных обозначениях факторов):

$$Y_1 = 18,647 - 2,034X_1 + 1,466X_2 - 1,706X_3 - 2,491X_1^2 + 0,669X_2^2 + 1,629X_3^2 + 0,34X_1X_2 + 0,337X_1X_3 - 0,05X_2X_3;$$

$$Y_2 = 9,92 - 2,147X_1 - 1,384X_2 + 3,819X_3 - 0,967X_1^2 - 0,462X_2^2 + 1,843X_3^2 + 0,341X_1X_2 - 0,514X_1X_3 - 0,226X_2X_3;$$

$$Y_3 = 15,136 - 3,696X_1 - 2,473X_2 + 3,961X_3 - 0,571X_1^2 - 0,496X_2^2 + 2,364X_3^2 + 1,138X_1X_2 + 0,875X_1X_3 - 0,29X_2X_3.$$

План эксперимента и результаты статистической обработки 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	+	+	+	17,9	3,03	9,84	1,68	14,67	2,93
2	-	+	+	18,88	1,38	14,91	1,16	19,58	1,66
3	+	-	+	11,48	2,39	13,1	2,85	20,17	1,72
4	-	-	+	17,24	4,64	18	4,87	26,92	3,74
5	+	+	-	19,75	5,34	4,9	1,02	7,034	1,62
6	-	+	-	25,5	2,88	6,38	1,87	12,73	1,32
7	+	-	-	16,55	4,32	5,56	2,34	8,66	1,54
8	-	-	-	20,24	5,2	9,94	0,63	21,62	2,55
9	+	0	0	14,07	3,05	6,13	1,22	11,24	1,34
10	-	0	0	18,23	1,69	11,77	2,11	17,88	1,4
11	0	+	0	18,38	3,15	7,82	0,53	13,95	1,34
12	0	-	0	20,24	5,66	11,09	1,56	15,32	1,21
13	0	0	+	20,01	1,69	16,32	0,96	21,65	5,96
14	0	0	-	20,53	5,03	7,2	2,48	13,34	2,52

Анализ графических зависимостей, построенных по данным регрессионным моделям, позволил сделать следующие выводы:

1. Прочность древесно-полимерных композитов изменяется с увеличением температуры прессования: вначале она незначительно растет, а затем наблюдается ее падение. В начале интервала варьирования температура достигает таких значений, когда измельченный полимер расплавляется и заполняет поры между древесными частицами, тем самым повышая прочность плиты. Однако температурные интервалы плавления полиэтилена и деструкции древесины находятся в одной области, поэтому при дальнейшем увеличении температуры увеличивается деструкция древесной составляющей композита, и прочностные показатели начинают снижаться.

2. При увеличении фракционного размера измельченной полиэтиленовой тары падает. Действует фактор уменьшения размера макромолекулы полиэтилена при механическом измельчении. Обрывки макромолекул имеют большую степень подвижности, это в сочетании с давлением прессования создает условия для сближения водорода полиэтилена и гидроксильной группы целлюлозы, и формирования водородной связи.

3. Разбухание композитов по толщине как за 2 ч, так и за 24 ч значительно снижается с увеличением температуры прессования. Это объясняется влиянием температуры на полимерную составляющую композита. При более высокой температуре большая часть измельченных полимерных отходов расплавляется и закрывает поры композита и перерезанные сосуды древесных стружек, блокируя доступ воды.

Для обеспечения повышенной водостойкости плит и достаточной прочности при статическом изгибе рекомендуется:

- минимальный фракционный размер измельченных полиэтиленовых отходов, добавка их только в наружные слои композитов;

- вид синтетического связующего – фенолформальдегидная смола (расход связующего во внутренние слои – 9 %, в наружные – 13,5 %);

- удельное давление прессования – 5 МПа;

- температура прессования – 240 °С;

- удельная продолжительность прессования – 0,6 мин/мм.

Вычисленные по моделям значения показателей (при рекомендуемом сочетании факторов): прочность композитов при статическом изгибе – 22,5 МПа; разбухание по толщине за 2 ч – 5,4 %; разбухание по толщине за 24 ч – 8,1 %. Результаты испытаний плит, изготовленных по рекомендуемым режимам: прочность – 21,9 МПа; разбухание по толщине за 2 ч – 6,1 %; разбухание по толщине за 24 ч – 8,9 %.

Данное исследование взаимодействия факторов процесса производства древесно-полимерного композита с добавкой измельченных бытовых полиэтиленовых отходов дает возможность управления процессом структурообразования разрабатываемого плитного материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азаров В. И., Буров А.В., Оболенский А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. – 2-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2010. – 624 с.
2. Вахнина Т.Н., Константинова И.С. Производство конструкционных древесно-полимерных композитов с добавкой измельченных бытовых полимерных отходов. – Вестник Костромского государственного технологического университета. – Кострома: КГТУ, 2012. – № 2(29). – С. 80–83.
3. Тагер А.А. Физикохимия полимеров. – М.: Химия, 1978. – 544 с.

4. Титунин А.А. Научные основы получения конкурентоспособных строительных материалов из низко-сортной древесины и древесных отходов: дис. ... докт. техн. наук. – Иваново: ИГАСУ, 2012. – 385 с.
5. Угрюмов С.А. Организационно-техническое обеспечение производства композиционных материалов на основе древесины и костры льна: монография. – Кострома: Изд-во Костромского гос. технол. ун-та, 20008. – 147 с.
6. Хрулев В.М., Машкин Н.А., Мальцев М.Г. Современные представления о структурообразовании древесных композиционных материалов // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: тр. Междунар. конф. – Ч. 2. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2000. – С. 138–140.

УДК 674.815

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ИЗ ВТОРИЧНО ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДРЕВЕСИНЫ (ВИД)

С.В. Гайда,

канд. техн. наук, доцент, НЛТУ Украины, г. Львов, Украина
gaida@e-mail.ua

Разработано технологию изготовления древесно-стружечных плит (ДСП) из ВИД, как дополнительного сырья. Предложено режимные параметры изготовления ДСП из ВИД, исходя из подготовленного сырья и коэффициента аннотометрии стружек. Проведен анализ свойств ДСП с различным содержанием ВИД. Получены адекватные регрессионные модели.

Ключевые слова: ВИД, стружка, ДСП, свойств, технологии, математические модели.

Актуальность. Сегодня переработка считается экологически чистым методом управления древесными отходами. Большая часть древесных отходов образуется из использованных мебельных изделий, которые, в основном, состоят из ДСП и других сконструированных деревянных предметов, т.е. материалов, которые могут быть использованы повторно [1]. Рост стоимости сырья, все более жесткие законы об утилизации отходов и жесткая конкуренция между производителями ДСП, привели к увеличению переработки вторично используемой древесины (ВИД). При сокращении расходов на первичное сырье в пределах от 40–70%, актуальной остается **проблема** использования любых источников ВИД в очищенном виде. Решение этого вопроса обеспечит заводы по производству ДСП дополнительным древесным ресурсом. ВИД имеет влажность около 20%, что, по сравнению с 60–70%-ной влажностью для первичной древесины (ПД), дает экономический смысл покупать подготовленную древесную щепу [2, 3]. Кроме того, она имеет длительный срок хранения и потребляет меньше энергии во время операций обработки. Технологические достижения в области оборудования для переработки древесины повысили эффективность её использования. Современные дробилки для древесины способны обрабатывать более 30 тонн в час. В настоящее время многое делается для обнаружения и удаления загрязнений с целью улучшения качества переработанной стружки.

Поэтому, разработка технологии ДСП из ВИД имеет **актуальное и практическое значение** исходя из экономических и экологических соображений. Есть преимущество, помимо очевидных, что ВИД будет устойчивой альтернативой использованию ПД. Рост стоимости сырья и эскалация конкуренции в качестве и цене плит обязывает и подгоняет руководителей заводов ДСП быстро внедрять разработанную инновационную технологию в производство.

Проблема исследования – разработка технологии изготовления ДСП из ВИД, как источника дополнительного сырьевого ресурса.

Цель исследования – научно-технологическое определение закономерностей влияния характеристик подготовленной ВИД и параметров разработанного технологического процесса ее переработки на свойства ДСП.

Объект исследования – ресурсосберегающая и экологобезопасная технология изготовления древесных плит из ВИД.

Предмет исследования – закономерности влияния характеристик подготовленной ВИД и параметров технологического процесса на свойства ДСП.

Задачи исследований:

- расчет объемов образования ВИД в Украине;
- экспериментальное исследование способов механической очистки ВИД;
- разработка технологии изготовления ДСП из ВИД;
- создание научно-технологических основ использования ВИД в плитном производстве;
- разработка практических рекомендаций для производства ДСП из ВИД.

Производственный потенциал ВИД в Украине. Уровень создания (накопления) ВИД рассчитывали от объема лесозаготовки в 2012 г. (12,18 млн т) в количестве 13%, что составило 1,58 млн т (табл. 1). Кроме того, в Украине ежегодно образуется в среднем 50–60 млн м³ твердых бытовых отходов (ТБО), где