

С.В. Гайда

*НЛТУ Украины, г. Львов, Украина
gaida@e-mail.ua*

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ИЗ ВТОРИЧНО
ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДРЕВЕСИНЫ**
(THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD PARTICLE
BOARDS MADE FROM POST-CONSUMER WOOD)

Установлено, что вторично используемая древесина (ВИД) является незадействованным ресурсом древесных отходов, пригодных для производства древесно-стружечных плит (ДСП). Разработана технология изготовления трехслойных ДСП с содержанием ВИД. Исследовано влияние содержания ВИД в каждом из слоев и связующего на физико-механические свойства трехслойных ДСП – прочность при статическом изгибе, растяжении перпендикулярно пласти плиты и разбухание по толщине.

It is found that post-consumer wood (PCW) is as yet non utilized resource of wood waste that is suitable for manufacturing wood particleboards (WPB). Production techniques for PCW-containing three-layer particleboards were developed. Investigated was the influence of the PCW and binder contents in each of the layers on physical and mechanical properties of three-layer particleboards: bending strength, tensile strength perpendicular to plane, and thickness swelling.

Актуальность. Суммарная площадь земель лесного фонда Украины составляла в 2011 г. 11,3 млн га, лесистость – 16,1 %. За 50 лет лесистость Украины выросла почти в 1,5 раза, а запас древесины – в 2,5 раза и достиг 2,04 млрд м³. В Украине ежегодно заготавливается около 15 млн м³. Для покрытия дефицита древесина импортируется. Общий объём использования древесины в 2011 г. составил 18,3 млн м³ (12,14 млн т): 8,05 млн м³ (44 %) составили изделия, 10,25 млн м³ – древесные отходы. Последние используются только на 60 %, а остальные: 1,54 млн м³ (15 %) не доступны; 2,56 млн м³ (25 %) не задействованы. Кроме того, в Украине ежегодно образуется более 1 млрд т твердых бытовых отходов (ТБО), в которых около 1 млн т составляют доступные древесные отходы. Только мобилизация дополнительных ресурсов – комплексное использование древесных отходов и древесины, бывшей в использовании, дало б возможность покрыть дефицит древесины в Украине, удовлетворять растущие потребности деревообрабатывающей промышленности в производстве плит и пиломатериалов (табл. 1), а также для производства энергии. Суммарный эквивалент от использования древесных отходов для производства энергии составил бы 12,1 ТВт·час/год.

Таблица 1

Динамика производства плит и пиломатериалов в Украине

Продукция	Объёмы производства, млн м ³					
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
ДСП	1,329	1,641	1,622	1,316	1,471	1,618
ДВП	0,089	0,101	0,115	0,094	0,108	0,098
МДФ, ХДФ	-	-	-	-	-	0,300
Фанера	0,163	0,176	0,163	0,108	0,144	0,160
Пиломатериалы	1,418	1,749	1,644	1,283	1,238	1,329

Классификация ВИД. Главный критерий классификации ВИД – это степень её загрязнения. В термин «вторично используемая древесина» заложены промышленные отходы (например, бракованная продукция) и использованные (отработанные) изделия из древесины, древесных материалов и композитных материалов с содержанием древесины больше 50 % массы. В настоящее время отсутствуют нормативно-технические документы по классификации отходов, и тем более для классификации ВИД. В НЛТУ Украины разработан Классификатор ВИД и предложено для украинского законодательства четыре категории ВИД и отходы ликвидации:

- категория ВИД-I – природная и только механически обработанная древесина с незначительными загрязнениями (парафин, церезин, петролак, воск и др.);
- категория ВИД-II – древесина или древесные материалы, проклеенные, лакированные или обработанные любым другим образом, без органических галогенных соединений в патине, без пропитывающего защищающего состава для древесины;
- категория ВИД-III – древесина или древесные материалы, проклеенные, лакированные или обработанные любым другим образом, с органическими галогенными соединениями в патине, без пропитывающего защищающего состава для древесины;
- категория ВИД-IV – древесина или древесные материалы, обработанные и пропитанные защитным составом;
- отходы ликвидации – древесина или древесные материалы, которые содержат полихлорированные бифенилы ПХБ, полихлорированные терфенилы ПХТ, полибромированные бифенилы ПББ концентрацией 50 мг/кг и более, а также бенз(а)пирен.

Происхождение и расчет потенциального количества ВИД в Украине. ВИД образуется на деревообрабатывающих производствах, в секторе строительства при ликвидации и строительстве зданий, в торговле (тара, поддоны, кабельные барабаны и др.), в муниципальном хозяйстве (изделия из рекреационных зон и др.), в семьях (старая мебель, столярные изделия и др.) и др. Расчёт потенциального количества ВИД проведен из расчётного количества потребления древесины и образования ТБО, например, для 2011 г., соответственно: 13 % от количества – 18,3 млн м³ (12,14 млн т) древесины и 0,1 % – от 1,322 млрд т ТБО (табл. 2).

Таблица 2

Потенциал вторично используемой древесины в Украине

Происхождение	2009		2010		2011	
	млн т	%	млн т	%	млн т	%
Торговля (тара, поддоны)	0,225	8,65	0,375	13,39	0,204	7,03
Строительные отходы	0,457	17,58	0,527	18,82	0,488	16,83
Перерабатывающая пром-сть	0,105	4,04	0,222	7,93	0,105	3,62
Хозяйственная деятельность	0,335	12,88	0,428	15,29	0,411	14,17
Другая	0,243	9,35	0,225	8,04	0,37	12,76
Сумма ВИД*	1,365	52,50	1,777	63,46	1,578	54,41
ТБО (ВИД**)	1,235	47,50	1,023	36,54	1,322	45,59
Итого	2,6	100,00	2,8	100,00	2,9	100,00
Потребление древесины (ПД)	10,500	–	13,600	–	12,140	–

* ВИД = ПД 13 %/ 100%; ** ВИД = Твёрдые бытовые отходы (ТБО) · 0,1 %/100 %

Варианты управления ВИД. Возможные варианты управления ВИД предоставлены на рис. 1. В зависимости от категории ВИД эти отходы могут быть использованы

как для переработки для производства новой продукции или аналогической продукции меньших размеров, так и для производства энергии.



Рис. 1. Выбор материального управления ВИД

В НЛТУ Украины уже более 10 лет происходят исследования по применению ВИД, те есть древесины, бывшей в употреблении, разной вековой группы, первой и второй категории для изготовления древесно-стружечных плит (ДСП) с изучением свойств.

Выбор критерия оценки. Во время выбора критериев оценки результатов изготовления плит учитывалась технологическая и экономическая составляющие. Эти требования предопределены тем, что плиты из ВИД должны отвечать требованиям к плитам марки ПА ГОСТ 10632:2009, а их себестоимость не должна превышать себестоимости плит из ствольной древесины. Таким образом, в качестве критерия оптимизации результатов изготовления плит принят предел прочности при статическом изгибе. Кроме того, критериями оценки качества плит являются другие показатели, а именно дополнительно определялись предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты, разбухание за толщиной.

Планирование исследований. Поскольку процесс изготовления и испытания ДСП из ВИД исследовали в лабораторных условиях, то использовали полнофакторный план. Переменными факторами во время проведения экспериментов были приняты: содержание древесных частиц ВИД как во внутреннем, так и во внешних слоях и связующего. Значение содержания стружки из ВИД для каждого слоя колебалось от 20 до 100 %, а остальная стружка – из стандартной технологической щепы, содержание связующего в каждом слое – согласно средних норм расходов – 7–16 %.

Результаты экспериментальных исследований. Данные, полученные в ходе проведения физико-механических испытаний, запрессованных экспериментальных ДСП с содержанием ВИД на статический изгиб, растяжение перпендикулярной пласти плиты и разбухание, были статистически обработаны. Проведенные расчеты позволили получить следующие уравнения регрессий полных факторных планов в натуральных значениях факторов соответственно для физико-механических свойств:

$$1) \sigma_{из} = 6,968 - 0,011P_{вн} - 0,013P_{внеш} + 0,777K + 0,0001P_{вн}P_{внеш} + 0,0013P_{вн}K - 0,0016P_{внеш}K;$$

$$2) \sigma_{рас} = 0,166 - 0,00128P_{вн} - 0,0015P_{внеш} + 0,0328K + 0,0000007P_{вн}P_{внеш} + 0,000072P_{вн}K - 0,000086P_{внеш}K;$$

$$3) H_{раз} = 19,27 - 0,006P_{вн} - 0,0074P_{внеш} + 0,025K + 0,000045P_{вн}P_{внеш} + 0,000073P_{вн}K - 0,00057P_{внеш}K.$$

Поскольку влияние факторов и взаимодействий на функцию отклика удобно анализировать на основе графиков, то было построено уравнение регрессии группы графиков – зависимость исходной величины от содержания ВИД как во внутреннем, так и во внешних слоях при фиксированных значениях связующего на минимальном, среднем и максимальном уровнях. Некоторые графики приведены на рис. 2, 3.

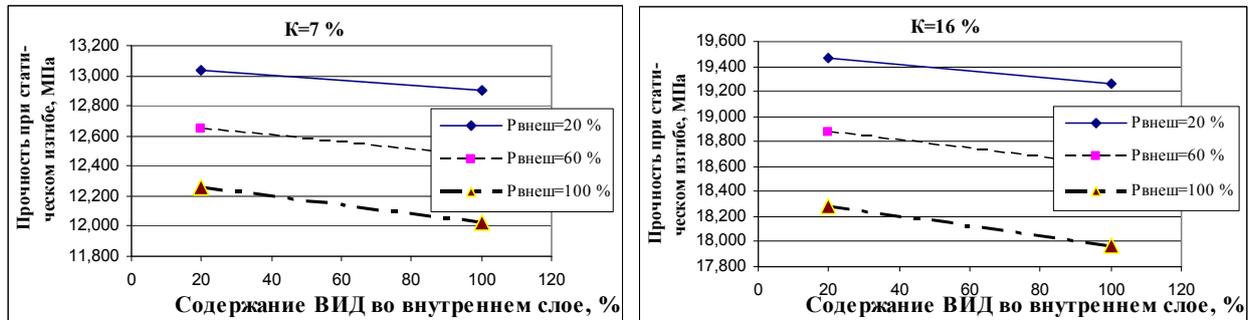


Рис. 2. Зависимость прочности плит при статическом изгибе от содержания ВИД

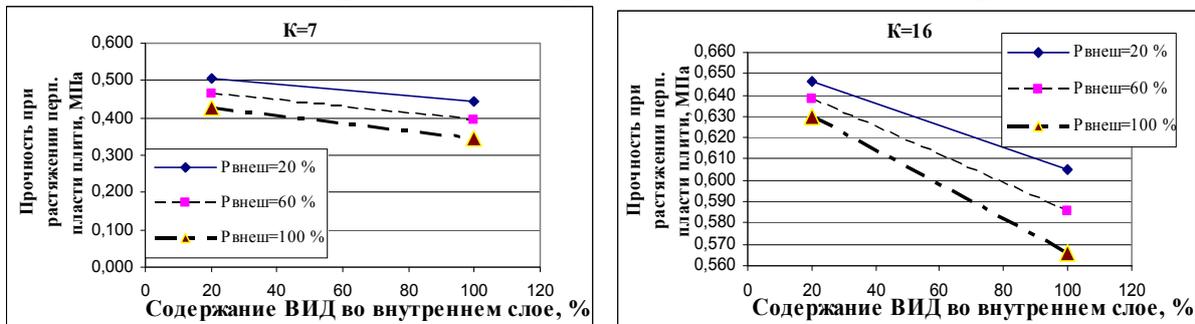


Рис. 3. Зависимость прочности плит при растяжении перпендикулярно пласти плиты от содержания ВИД

Графическая интерпретация полученных зависимостей позволила увидеть характер влияния переменных факторов на свойства полученных плит. Поскольку был реализован полнофакторный план, то все зависимости носят линейный характер. Из графиков видно, что содержание ВИД в диапазоне 20–100 % в ДСП ведет себя одинаково при разном содержании связующего. В частности, при расходе клея 11,5 % прочность при статическом изгибе падает с 16,25 до 15,0 МПа, при растяжении перпендикулярно пласти плиты – от 0,575 до 0,455 МПа, а разбухание за толщиной – с 15,90 до 15,36 %. Исследованиями установлено, что при плотности плиты 700 м³/кг и средней расходе клея 11,5 %, увеличение содержания стружки из ВИД во внешних слоях от 20 до 100 % уменьшает прочность при статическом изгибе на 6 %, а такое же увеличение во внутреннем слое приводит к уменьшению только на 1 %. При 100 % изготовлении плит из ВИД и среднем расходе клея для всех слоев 11,5 % прочность при статическом изгибе составляла 15 МПа, что на 8 % меньше, чем при наполнении древесно-стружечного ковра на 20 % стружкой из ВИД.

Аналогично при тех же условиях обнаружено, что на прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты существенно влияет увеличение содержания стружки ВИД (с 20 до 100 %) во внутреннем слое, больше чем во внешних. Величина прочности уменьшается на 9 %, но отвечает требованиям к плитам марки П-А за ГОСТ 10632:2009.

Кроме того, экспериментально доказано, что контрольные экспериментальные образцы из 100 % традиционного сырья при одинаковом расходе клея имели меньшие физико-механические свойства, чем плиты из 20 % наполнением из ВИД: прочность последних при статическом изгибе была больше на 15 %, прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты также больше на 22 %, а разбухание за толщиной было меньше на 17 %. Во-первых, рост показателей в диапазоне содержания стружки из ВИД от 0 до 20 % предопределено увеличенным содержанием (в два раза) мелкой фракции (1/0) в стружке из ВИД (см. табл. 1); во-вторых, мелкие частицы заполняют пустоты и тем самым увеличивают площадь склеивания, которое влияет на показатели прочности; в-третьих, при прибавлении ее к внешним слоям улучшается структура поверхности (шероховатость) полученных плит, а при прибавлении к внутреннему слою – неплоская стружка (скрученная, кубикообразная) частично располагается не в плоскости плиты, а под углом, который предопределяет большее сопротивление растяжению перпендикулярно плоскости плиты, поскольку на это влияют не только клеевые швы, но и волокна древесины.

Выводы и рекомендации:

1. Проанализировано, что в Украине сегодня есть проблема древесных сырьевых ресурсов. Значительную часть импортной древесины, возможно заменить на древесину, бывшую в употреблении, вторично используемую древесину (ВИД). Начерчены пути её материального использования. Просчитано, что потенциал ВИД в Украине составляет около 3 млн т/год.

2. Расчетное количество ВИД за 2011 г. в Украине составляет 2,9 млн т, что может принести для Украины 12,1 ТВт/год (6,3 % годового потребления энергии) или заменить, только при 50 % её использовании, до 20 % первичной древесины для плитной промышленности.

3. Установлено, что ВИД первой и второй категорий (30–50 % от всего объема сбора) является значительным ресурсом древесины и существенным приложением к основному сырью в производстве ДСП.

4. Разработана технология изготовления ДСП с использованием в качестве сырья ВИД. При использовании ПФП-2³ проведен многофакторный эксперимент и реализована матрица планирований согласно методике исследований.

5. Установлено, что отсортирована щепка из ВИД (массивной древесины) первой и второй категории, характеризуется содержанием кондиционной фракции (не меньше 80 %) и отвечает требованиям к треске ПС за ГОСТ 15815-83.

6. Стружка из чистой ВИД, если она получена на аналогичном оборудовании, которое используют для переработки первичного сырья, по геометрическим размерам, форме и фракционному составу существенно не отличается от стружки из традиционной древесины. Увеличено содержание мелкой фракции (1/0) в стружке из ВИД в диапазоне содержания стружки из ВИД от 0 до 20 % в плите предопределяет рост физико-механических показателей ДСП. Коэффициент анизотропии стружек дает возможность предусматривать показатели прочности плит из ВИД.

7. Исследовано влияние содержания ВИД в каждом из слоев и связующего на физико-механические свойства трехслойных ДСП – прочность при статическом изгибе, при растяжении перпендикулярно пласти плиты и разбухания за толщиной.

8. Получены адекватные математические модели зависимости физико-механических показателей ДСП от содержания ВИД и связующего в каждом из слоев. Установлено, что при плотности 700 кг/м³ плиты из ВИД (100 %) имели, в зависимости от содержания ВИД (20–100 %) и расхода клея, на 8–10 % меньшую прочность при статическом изгибе и на 12–32 % меньшую – при растяжении перпендикулярно пласти

плиты, чем с содержанием ВИД 20 %, и при этом отвечали требованиям к плитам марки П-А ГОСТ 10632:2009 «Плиты древесно-стружковые. Технические условия».

9. Исследовано, что разбухание за толщиной для ДСП из ВИД (100 %) при средней затрате клея 11,5 % имеет значения на 3–5 % меньше, чем у плит из 20 % содержанием ВИД, кроме того, при изменении количества клея от 7 до 16 % для тех же условий изготовления разбухания за толщиной уменьшается на 18 %. Причина – древесные частицы из ВИД после длительного использования (20–40 лет) теряют связанную влагу, то есть являются более пористыми, а еще предопределяется их большее количество в единице объема, который способствует повышенному уплотнению их между собой, то есть уменьшает проникновение влаги.

10. Установлено, что рациональными условиями изготовления плит стандартного качества (ГОСТ 10632:2009) отвечают: для плит марки П-А (13 МПа) содержание ВИД в плите во внутреннем и внешних слоях может составлять до 60 % при средней затрате клея 11,5 %; для плит марки П-Б (11,5 МПа) содержание ВИД во внутреннем составляет до 100 %, а у внешних слоях может составлять 80–100 % при затрате клея во внутреннем слое – 7–8 %, а у внешних слоях – 10–11 %.

11. Рассчитана эффективность от внедрения полученных результатов изготовления ДСП с использованием ВИД на предприятии ООО «Свиспан Лимитед», которая заключается в том, что благодаря привлечению ВИД уменьшаются расходы на традиционную древесину на 9,4 %.

А.Г. Гороховский, Е.В. Шадрин
УГЛТУ, Екатеринбург, РФ
elena_vic_9@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧИНОЧНЫХ СВОЙСТВ КАРАНДАШЕЙ ИЗ КЛЕЕНОЙ ДОЩЕЧКИ (THE PENCILS FROM GLUED WOOD. THE FORECASTING OF SHARPENING PROPERTIES)

В статье описана экспериментальная методика прогнозирования чиночных свойств карандашей, изготовленных из клееной дощечки. Новая конструкция дощечки представляет собой клееный материал, который состоит из 4 листов модифицированного шпона с продольным направлением волокон. Целью модификации шпона является размягчение древесины.

The article describes a forecasting method of pencil's sharpening properties. The new construction of laminated plate is a material that consists of 4 sheets of modified veneer. The aim of modification is the softening of the wood veneer.

Введение

Хорошие чиночные свойства деревянного карандаша определяют легкость его заточки. В свою очередь, при производстве карандашей на достижение требуемых чиночных свойств оказывают влияние три основных фактора: