

Гайда С.В.

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів  
gaida@e-mail.ua

ТЕХНОЛОГІЇ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ  
ВЛАСТИВОСТІ СТОЛЯРНИХ ПЛИТ ІЗ ВЖИВАНОЇ  
ДЕРЕВИНИ

УДК 674.8

Обґрунтовано, що вживана деревина (ВЖД) є потенційним ресурсом сировини (2 млн. тонн/рік) для перероблення її на вироби з деревини. Визначено фізико-механічні властивості столярної плити (СП) із ВЖД: міцність при статичному згині поперек рейок, міцність при сколюванні по клейовому шву, формостійкість. Розроблено т з перероблення ВЖД на СП. Запропоновано режимні параметри і практичні рекомендації для виробників даних плит.

**Ключові слова:** деревина, столярної плити (СП), фізико-механічні властивості, міцність, формостійкість, технологія, режимні параметри, практичні рекомендації.

**Актуальність.** Потенційним ресурсом та невикористаною базою деревної сировини, запаси якої збільшуються в міру розвитку промисловості та господарства країни, в цілому, є запаси ВЖД. Еколого-економічна ефективність використання ВЖД залежить, в першу чергу, від техніко-технологічних можливостей як обладнання, так і відповідних технологій перероблення. Дана сировина, як додатковий ресурс деревної маси, через відсутність технологічних розробок та практичних рекомендацій не знайшла ще належного використання деревообробними підприємствами України.

**Проблема, що вирішується** – розроблення технології із додаткових ресурсів деревини, зокрема, ВЖД шляхом перероблення її на вироби з деревини. Проблема сировини та проблема відходів є найактуальнішими в деревообробній промисловості та енергетичній галузі світу, Європи та України, зокрема, на поч. ХХІ ст. Часткове вирішення останньої є раціональним та комплексним підходом до зменшення першої – проблеми сировини.

Технологія утилізації відходів – перероблення ВЖД для матеріального виробництва, зокрема столярних плит, є рентабельною та ефективною через низьку собівартість даної деревної біомаси. Отже, розроблення науково-технічної бази, удосконалення існуючої технології, модернізація обладнання для перероблення ВЖД, розроблення режимних параметрів та формування практичних рекомендацій, підтверджених результатами експериментальних досліджень є важливою та актуальною проблемою сьогодення.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Аналіз стану питання підтвердив актуальність цієї проблеми та необхідність проведення ґрунтовних досліджень з одержанням практичних рекомендацій за напрямками використання ВЖД. Протягом десяти років на кафедрі технології меблів та виробів з деревини НЛТУ України проводяться дослідження із створення науково-технічних основ використання ВЖД у технологіях деревооброблення, які є першочерговими та пріоритетними завданнями галузі, а також, виходячи з економічних та екологічних міркувань. Напрацювання вітчизняних вчених із зазначеної проблеми стосуються, в основному, використання виробничих деревних відходів, без залучення ВЖД до процесу перероблення. У багатьох країнах різні науковці широко вивчали ВЖД, особливо її забрудненість, яка стала визначальною щодо її класифікації, тобто належності до тої чи іншої групи, та використання. Зокрема, у Німеччині функціонує «Положення про регулювання вживаної деревини», де наведено особливості поводження з цими відходами.

Згідно аналізу літературних джерел у подрібненому вигляді ВЖД вже частково використовується для виготовлення ДСП, перемішуючись із первинною деревиною у певних співвідношеннях. Як варіант використання ВЖД в масивному вигляді є столярна плита (СП), яка розглядається, як міцний конструкційний матеріал [1]. Але, виходячи також із аналізу наукових праць, було зроблено висновок про те, що глибоким переробленням ВЖД для виготовлення СП, і, як наслідок, перевіркою фізико-механічних властивостей даних виробів ніхто не займався. Зі сказаного випливає, що дослідження, які спрямовані на розроблення технології СП із ВЖД, що за багаторічного використання в сухих приміщеннях має усталений напружено-деформований стан, викликають великий практичний інтерес і належать до пріоритетного напрямку науково-технічної діяльності в Україні, зокрема в НЛТУ України [1-5].

**Мета досліджень** – розробити технологію виготовлення столярних плит із ВЖД; запропонувати практичні рекомендації для забезпечення заданих показників якості виготовлення СП із ВЖД.

**Основна робоча гіпотеза** – одержання продукції із додаткових ресурсів деревини, зокрема, ВЖД шляхом перероблення її на столярну плиту.

**Об'єкт дослідження** – ресурсоощадна технологія використання ВЖД для виробництва столярних плит.

**Предмет дослідження** – фізико-механічні параметри СП із ВЖД

**Програма досліджень передбачала виконання таких завдань:**

- створення науково-технічних основ використання ВЖД з метою ресурсоощадності деревооброблювальних технологій;
- дослідження проблеми раціонального використання деревних ресурсів в Україні;
- розрахунок обсягів утворення ВЖД в Україні;
- дослідження способів очищення ВЖД;
- розроблення технології перероблення ВЖД столярні плити;
- дослідження закономірностей впливу використання ВЖД на фізико-механічні параметри одержаної продукції;
- розроблення практичних рекомендацій з перероблення ВЖД на СП.

**Основні методи досліджень:**

- методи механічного очищення;
- математичної теорії планування експериментів;
- методи виготовлення столярних плит;
- методи випробування експериментальних зразків;
- методи математичної статистики для опрацювання експериментальних даних.

**Потенціал ВЖД.** Під ВЖД розуміють використані деревину та будь-які вироби з неї, які утворюються у процесі виробництва та життєдіяльності людини, внаслідок техногенних чи природних катастроф (явищ), що не мають свого подальшого призначення за місцем утворення і підлягають видаленню або переробленню з метою забезпечення захисту довкілля і здоров'я людей або з метою повторного їх залучення у господарську діяльність як матеріально-сировинних та енергетичних ресурсів.

Досліджено, що в Україні кожного року утворюється певна кількість ВЖД – відходів споживання, частка деревини в яких становить більше 50 % [2, 3]. Вважаючи, що рівень споживання деревини залежить від експорту-імпорту, які компенсують один одного в загальному балансі сировини, рівень утворення ВЖД розраховували від об'єму заготівлі у 2014 р (18,333 млн. м<sup>3</sup> або 12,83 млн. т) у кількості 13 % (загальноприйнятий в ЄС розрахунок), що склало 1,668 млн. т. Крім того, в Україні в 2014 утворилося 45 млн. м<sup>3</sup> або 11,25 млн. т ТПВ, де частка ВЖД становить орієнтовно 3 %, а це 0,332 млн. т .

Таким чином, в Україні у 2014 р. утворилось 2 млн. т ВЖД з енергетичним потенціалом 0,936 млн. т у.п. (27,442 ПДж або 7,623 млрд. кВт-год).

Міру наближення експериментальних розрахункових даних (потенціалу ВЖД з 2010 по 2015 рр.) за відповідною апроксимуючою функцією оцінювали за допомогою  $R^2$  – коефіцієнтів. Дослідження і розрахунки показали, що статистичні дані кількості ВЖД можуть бути добре апроксимовані. На основі статистичних даних та щорічних розрахунків потенціалу ВЖД були отримані апроксимуючі залежності. Найкраще наближення розрахункових даних до їх вирівняних значень краще забезпечувала апроксимація поліноміальною залежністю, ніж лінійною (рис. 1).

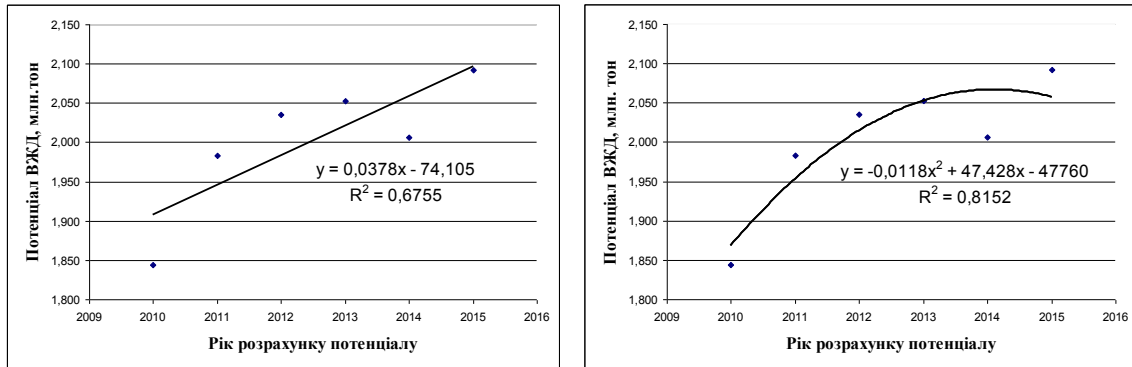


Рисунок 1 – Результати розрахунків кількісного потенціалу ВЖД із використанням функції методу найменших квадратів

**Технологія СП із ВЖД.** Основним завданням при реалізації технологічного процесу виготовлення СП із ВЖД це безумовно надання ВЖД форми і розмірів чистових заготовок для подальшого склеювання у столярний щит [3]. А далі технологічний процес нічим не відрізняється від типового технологічного процесу виготовлення СП.

Загальна технологія одержання СП із ВЖД охоплює чотири етапи:

- підготовка дерев'яних брукових компонентів СП;
- підготовка плитних та листових компонентів СП;
- одержання столярного щита;
- виготовлення столярної плити.

Основні операції технологічного процесу виготовлення СП із ВЖД:

- Очищення деревини від фурнітури та інших сторонніх включень [4, 5];
- Вирізка дефектних місць та руйнування шипових з'єднань;
- Очищення деревини від ЛФМ;
- Надання заготовці правильного перерізу та торцювання в розмір;
- Фугування пластів та крайки;
- Фрезювання рейки в розмір;
- Нанесення клею та формування столярного щита;
- Склеювання столярного щита;
- Калібрування в розмір по товщині;
- Нанесення клею на щит та личувальний матеріал (фанера чи ДВП);
- Напресування на столярний щит фанери чи ДВП;
- Форматний розкрій.

Підготовка дерев'яних брукових компонентів СП включає сортування за придатністю до матеріального використання та розмірними характеристиками у відповідності до вимог експерименту, очищення ВЖД від фурнітури та інших сторонніх включень; руйнування шипових з'єднань та вирізання дефектних місць; очищення поверхонь деревини від лакофарбових матеріалів; фугування пластів; повздовжній розкрій деревини;

двобічне фрезування крайок; торцювання. Підготовка рейок із ДСП для СП включає очищення від фурнітури та інших сторонніх включень, розкрій на задані ширини, очищення від натуральних та синтетичних личаківок, торцювання. Всі рейки мали розміри  $480 \times 40 \times 16$  мм.

Підготовка личаківок із фанери та ДВП включає очищення від різноманітних включень, форматний розкрій на розміри задані ширини, очищення від натуральних та синтетичних личаківок, торцювання в розмір  $520 \times 520$  мм.

Одержання столярного щита включає підбір рейок за конструкцією СП (за шириною рейок, за кутом нахилу річних шарів, за порядком укладання), нанесення клею на крайки рейок з витратою  $200-250$  г/м<sup>2</sup>, склеювання у ваймі (режимні параметри: температура –  $85-90$  °С, час витримки –  $30-40$  хв, тиск –  $0,5-1,0$  МПа), технологічна витримка (вологість –  $50 \pm 5$  %, температура  $20 \pm 2$  °С) протягом  $8-12$  год., фрезерування за товщиною (калібрування) з двох боків до  $14$  мм, форматний розкрій на розміри  $480 \times 480$  мм. Завершальний етап виготовлення СП включає наступні операції: нанесення клею на столярний щит з витратою  $150-200$  г/м<sup>2</sup>, формування пакету, личкування у плоскому пресі (режимні параметри: температура –  $115-120$  °С, час витримки –  $4-6$  хв, тиск –  $1,2-1,3$  МПа), технологічна витримка (вологість –  $50 \pm 5$  %, температура  $20 \pm 2$  °С) протягом  $4-8$  год., розкрій за периметром на розміри  $450 \times 450$  мм.

Столярні плити виготовляли п'яти конструкцій:

1. рейки з ДСП – личаківка з ДВП;
2. рейки з ДСП та ВЖД-масив – личаківка з ДВП;
3. рейки з ВЖД-масив – личаківка з фанери;
4. рейки з первинної деревини (ПД) – личаківка з фанери;
5. рейки з ДСП та ВЖД-масив – личаківка з фанери.

#### **Методика дослідження властивостей столярних плит із ВЖД.**

Всі випробування проводили в лабораторії при температурі  $20 \pm 5$  °С, відносній вологості навколишнього середовища  $50-65$  %. Підготовлені зразки СП із ВЖД випробовували на обладнанні та апаратурі, згідно відомих методик (методів визначення), наданих міждержавними стандартами [7-11]. Вологість також вимірювали вологоміром S200.

Розміри підготовлених зразків для випробувань для визначення:

- Формостійкості –  $450 \times 450 \times 22$  мм;
- Міцності при статичному вигині –  $425 \times 75 \times 22$  мм;
- Міцності при сколюванні вздовж волокон –  $85 \times 40 \times 22$  мм.

#### **Обробка результатів експериментів.**

**Вологість зразків (W)** обчислювали за формулою:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2}, \% \quad (1)$$

де:  $m_1$  – маса зразка до висушування, г;  $m_2$  – маса зразка після висушування, г.

**Міцність при статичному згині ( $\sigma_w$ )** обчислювали за формулою:

$$\sigma_w = \frac{3P_{\max} \cdot l}{2b \cdot h^2}, \text{ Н} \cdot \text{мм}^{-2} \quad (2)$$

де  $P_{\max}$  – максимальне навантаження, Н;  $h$  – висота зразка,  $h = 22$  мм;  $l$  – відстань між центрами опор,  $l = 375$  мм;  $b$  – ширина зразка,  $b = 75$  мм.

**Міцність при сколюванні по клеєному шару ( $\tau_w$ )** обчислювали за формулою:

$$\tau_w = \frac{P_{\max}}{b \cdot l}, \text{ Н} \cdot \text{мм}^{-2} \quad (3)$$

де:  $P_{\max}$  – максимальне навантаження, Н;  $b$  – ширина площини сколювання,  $b = 40$  мм;  $l$  – довжина площини сколювання,  $l = 12,5$  мм.

**Формостійкість** СП визначали за максимальною стрілою прогину плити. Дане відхилення  $S$  від площинності вимірювали індикатором типу ИЧ-25-0,01, який був закріплений на експериментальній установці з ЧПУ. Інформацію, яку одержували за допомогою програмного забезпечення фірми «Мікротех» типу УИС-Р1, передавали у середовище Microsoft Excel для запису та оброблення. Покази знімали з експериментальних зразків СП у двох напрямках з кроком 40 мм. За проміжне значення стріли прогину приймали середнє значення цієї вибіркової сукупності. Експериментальне значення функції відгуку отримували як різницю середніх значень вибірок, отриманих за результатами першого і останнього вимірювання.

**Результати експериментальних досліджень.** Порівняння результатів експерименту і стандартизованих значень для різних конструкцій плит (рис. 2) засвідчило, що реальні відхилення від площинності експериментальної конструкцій плит №2 (рейки з ДСП та ВЖД-масив – личаківка з ДВП) є більшими за допустимі. Відхилення від площинності за стрілою прогину всіх інших конструкцій плит задовольняють вимогам стандарту, тобто 0,3 мм за 12 ступенем точності. Необхідно відзначити, що СП із ПД мали стрілу прогину на 20 % більшу, ніж СП із ВЖД-масив. Комбіновані СП різного личкування (ДВП, фанера) мали розбіжності у формостійкості у два рази.

Фізико-механічні властивості СП із ВЖД різних конструкцій мають досить високе поле розсіювання, тим не менше вони піддаються закону нормального розподілу, що було підтверджено критерієм Пірсона під час аналізу вибірки із ста взірців, випробуваннях на міцність при статичному згині впоперек рейок згідно ГОСТ-9625-87 та на сколювання по клейовому шару згідно ГОСТ-9624-93. Фізико-механічні параметри всіх столярних плит не залежно від їх конструкції задовольняють вимогам ГОСТ-13715-78.

Найвищими фізико-механічними параметрами характеризується фанерована столярна плита з клеєним щитом із ВЖД та ДСП. Середня міцність на статичний згин впоперек рейок такої плити становить 27,03 МПа (рис. 3), а міцність на сколювання по клейовому шарі в сухому стані 1,49 МПа (рис. 4).

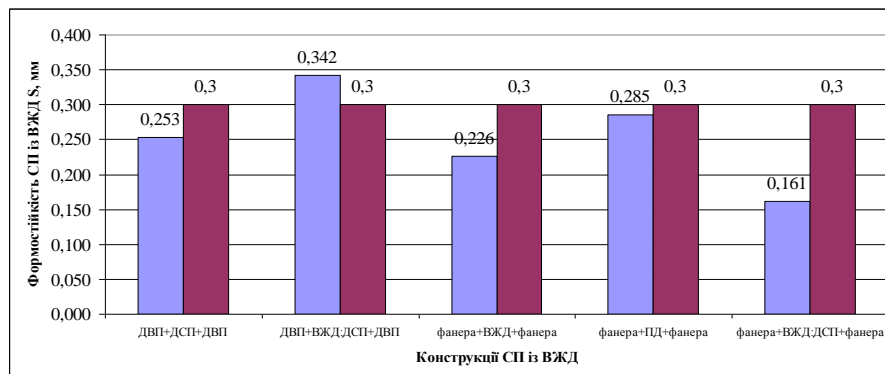


Рисунок 2 – Порівняння формостійкості СП із ВЖД різних конструкцій

Найнижчими фізико-механічними показниками характеризується плита з клеєним щитом із ДСП личкована ДВП. Середня міцність на статичний згин впоперек рейок такої плити становить 16,10 МПа, а міцність на сколювання по клейовому шарі в сухому стані 1,26 МПа.

Фізико-механічні параметри фанерованої СП із з ПД дещо вищі від фізико-механічних параметрів аналогічної по конструкції СП із ВЖД. Так міцність на статичний згин впоперек рейок СП із ПД становить 22,11 МПа, а міцність СП із ВЖД становить 19,63 МПа. Міцність на сколювання по клейовому шарі СП із ПД становить 1,31 МПа, а міцність СП із ВЖД – 1,30 МПа.

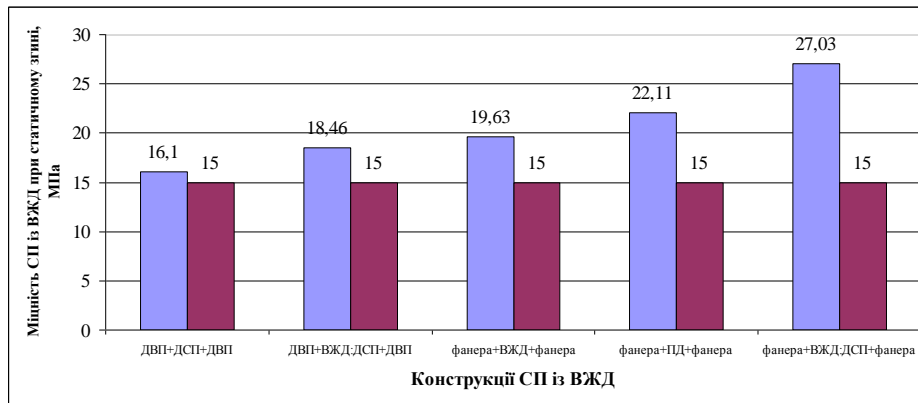


Рисунок 3 – Порівняння показника міцності при статичному згині поперек рейок між СП із ВЖД різних конструкцій

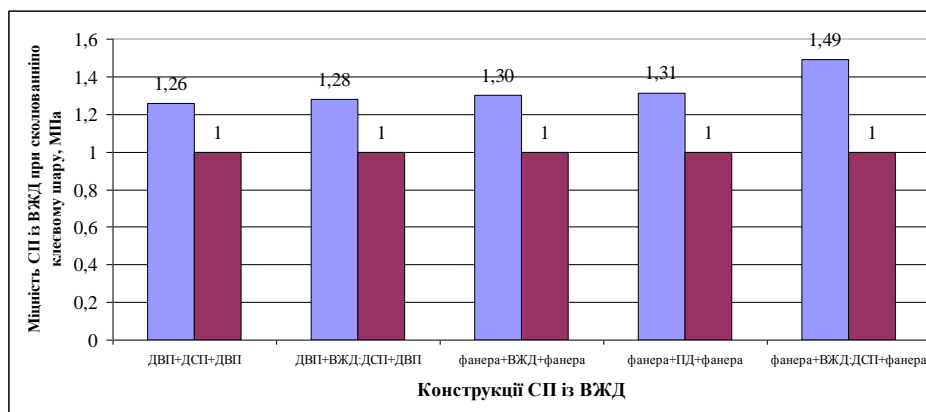


Рисунок 4 – Порівняння показника міцності при сколюванні по клеєвому шву між СП із ВЖД різних конструкцій

### Висновки:

1. Розраховано, що річний потенціал ВЖД в Україні становить 2 млн. т.
2. Встановлено, що ВЖД може бути додатковим деревинним ресурсом для виготовлення столярних плит та інших виробів з деревини.
3. Досліджено, що фізико-механічні параметри СП із ВЖД різних конструкцій задовольняють вимоги ГОСТ-13715-78 та DIN 68705-2:2014-10.
4. Встановлено, що СП із ВЖД мають формостійкість, яка не перевищує 0,3 мм для плит 450 × 450 мм, що задовольняє ГОСТ 6449.3-82.
5. Запропоновано технології виготовлення СП із ВЖД різних конструкцій..
6. Обґрунтовано, що використання ВЖД в технологіях деревооброблення буде мати суттєву фінансову та еколого-економічну вигоду.

### Рекомендації до конструкцій та технологій СП і ВЖД:

- вологість рейок –  $8 \pm 2$  %;
- для рейок з масиву : ширина = 2,5 товщини;
- для рейок з плит : ширина = 3 товщини;
- для рейок з масиву та плит : ширина = 4 товщини;
- розташування рейок – радіальне, або під кутом 45°;
- личкувати – фанерою (можливо ДВП);
- витрата клею для щита – 200-250 г/м<sup>2</sup>; витрата клею для СП – 150-200 г/м<sup>2</sup>;
- температура вайми для щита – 85-90 °С; температура преса для СП – 115-125 °С;
- час витримки під тиском для щита – 30-40 хв, для плит – 4-6 хв;
- тиск для щита – 0,5-1,0 МПа; для СП – 1,2-1,3 МПа.

**Напрямки подальших досліджень** мають бути спрямовані на підвищення міцності та формостійкості СП на основі комбінованого укладання рейок із ВЖД з урахуванням анізотропії деревини зокрема; розробленні ресурсощадних та екологічнобезпечних технологій з практичними рекомендаціями щодо використання ВЖД для виробництва інших видів продукції, взагалі. Україна повинна запровадити конкретні заходи державного регулювання, які використовуються в індустріально розвинутих зарубіжних країнах, для активізації роботи в галузі ресурсозбереження.

### **Література**

1. Гайда С.В. A comparative analysis of physical and mechanical parameters of variously designed glued boards made of post-consumer recovered wood / Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2010, вип. 36. – С. 81-92.
2. Гайда С.В. Технології та рекомендації до використання вживаної деревини в деревообробленні // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2013, вип. 39.1. – С. 48-67.
3. Гайда С.В. Ресурсощадні технології перероблення вживаної деревини / Серія «Техніка та енергетика АПК» // Науковий вісник НУБіП України : зб. наук. праць. – К.: РЦ НУБіП України. – 2013, вип. 185. – Ч.2 – С. 271-280.
4. Гайда С.В. Способы подготовки к переработке вторично используемой древесины иглофрезерными и щеточными станками // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. научных трудов. – Брянск: БГИТА. – 2014, вып. 40. – С. 65-69.
5. Гайда С.В., Кийко О.А. Технология очистки вторично используемой древесины иглофрезерными станками // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса : материалы II междунар. науч.-технич. конф., 9-11 сентября 2013 г. – Кострома: Изд-во КГТУ. – 2013. – С. 36-39.
6. DIN 68705-2:2014-10. Plywood – Part 2: Blockboard and laminboard for general use. Germany, (in Deutsch).
7. ГОСТ 13715-78. Плиты столярные. Технические условия. – Взамен ГОСТ 13715-68; Введ. с 01.01.80. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 17 с.
8. ГОСТ 9625-87. Древесина слоистая клееная. Методы определения предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе. – Взамен ГОСТ 9625-72; Введ. с 01.01.88. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 7 с.
9. ГОСТ 9624-93. Древесина слоистая клееная. Методы определения предела прочности при скальвании. – Взамен ГОСТ 9624-72; Введ. с 01.07.94. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 12 с.
10. ГОСТ 577-68. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия. – Взамен ГОСТ 577-60; Введ. с 01.07.68. – М.: Изд-во стандартов, 1968. – 11 с.
11. ГОСТ 6449.3-82. Изделия из древесины и древесных материалов. Допуски формы и расположения поверхностей. Введ. с 01.01.84. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 11 с.

**S. Gayda Technology and physical and mechanical properties blockboard made of post-consumer wood (pcw)**

It has been shown that post-consumer wood (PCW) is a potential secondary raw material resource (about 2 million. tons/year) for manufacturing blockboards. Physical and mechanical properties of PCW-made blockboards have been studied. strength at static bending across the rails, shearing strength of the adhesive layer, shape stability. A technology has been provided for application of PCW in blockboards production. Operating parameters and practical recommendations have been provided for the technology of manufacture of PCW-made blockboards.

**Keywords:** wood, joinery boards (DSP), physical and mechanical properties, strength, shape stability, technology, operating parameters, practical recommendations.

**References**

1. Gayda S A comparative analysis of physical and mechanical parameters of variously designed glued boards made of post-consumer recovered wood / Lis. Khozyaistvo, forest., paper. and for wood. Ind Amount: mizhvid. nauk.-Tech. Coll. - Lviv, Ukraine NLTU. - 2010, vol. 36. - P. 81-92.
2. Gayda S Technology and recommendations for the use of used wood derevoobroblenni // Forest. Khozyaistvo forest. paper. and for wood. Ind Amount: mizhvid. nauk.-Tech. Coll. - Lviv, Ukraine NLTU. - 2013, vol. 39.1. - P. 48-67.
3. Aida S. Resource saving technologies of recycling of used wood / Series "Technology and Energy AIC" // Scientific Herald NUBiP Ukraine: Coll. Science. works. - K. : RC NUBiP Ukraine. - 2013, vol. 185. - Part 2 - P. 271-280.
4. S. Gayda S Methods for the preparation REFINING vtorychno yspolzue moy Tree Sina yhlofrezernymy and schëtochnymy machines // Actual problems Lesna com-plex, coll. the Scientific Labor. - Bryansk: BHYTA. - 2014, Vol. 40. - P. 65-69.
5. S. Gayda S, batons OA Technology treatment vtorychno yspolzue moy beams HN-yhlofrezernymy machines // Actual problems and prospects of development lesop-romыshlen-noho complex: materials II Internat. nauch.-tehnych. Conf., 9-11 September 2013 g - Kostroma: Izd KHTU. - 2013. - P. 36-39.
6. DIN 68705-2:2014-10. Plywood – Part 2: Blockboard and laminboard for general use. Germany, (in Deutsch).
7. GOST 13715-78. Stolyarnыe panel. Specifications .. - Instead of GOST 13715-68; Intr. c 01/01/80. - M. : Izd standartov, 1980. - 17 p.
8. GOST 9625-87. Timber sloystaya kleenaya. Methods for determining Limit prochnosty and module upruhosty at statycheskom yzhybe. - Instead of GOST 9625-72; Intr. c 01/01/88. - M. : Izd standartov, 1988. - 7 p.
9. GOST 9624-93. Timber sloystaya kleenaya. Methods for determining Limit prochnosty at skalыvanyu. - Instead of GOST 9624-72; Intr. 01.07.94 s. - M. : Izd standartov, 1994. - 12 p.
10. GOST 577-68. Indicators Time tsenoy delenyuya type with 0.01 mm. Tehnyches-Kie conditions. - Instead of GOST 577-60; Intr. c 01/07/68. - M. : Izd standartov, 1968. - 11 p.
11. GOST 6449.3-82. Fixing timber and drevesnyh materials. Tolerances pho-гмы and Lo-cation of surfaces. Intr. c 01/01/84. - M. : Izd standartov, 1984. - 11 p.