

6. ДЕРЕВООБРОБНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЛІСОВА ІНЖЕНЕРІЯ



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412135>
Article received 2021.09.23
Article accepted 2021.12.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Serhiy Gayda
serhiy.hayda@nltu.edu.ua

103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine

УДК 674*038.15:674*8

Властивості вживаної деревини як важливий чинник якості конструкційних матеріалів

С. В. Гайда¹, О. А. Кійко²

Встановлення основних показників вживаної деревини (ВЖД), зокрема основних шпилькових порід, є актуальною науковою проблемою, оскільки наповнення нормативної бази даних забезпечить виготовлення якісних виробів з деревини з максимальним урахуванням особливостей механічних і фізичних характеристик цього потенційного резерву сировини. ВЖД доцільно матеріально використовувати в технологіях деревооброблення для виробництва конструкційних матеріалів і складових елементів меблевих виробів. Визначено основні фізико-механічні властивості ВЖД низки деревних порід – ялиці, ялини, сосни, модрина, які широко використовують для отримання виробів у меблевій та деревообробній галузях за такими показниками: щільність, ударна і статична твердість, міцність при статичному згині, міцність при сколюванні та міцність при стиску вздовж волокон. Експериментально встановлено, що фізико-механічні властивості ВЖД зазначених порід нижчі від аналогічних показників з первинної деревини (ПД). Виявлено, що щільність зменшується не більше ніж на 4,7% (діапазон для різних порід – 1,54-4,67%); ударна твердість знижується в діапазоні 1,37-4,11%; статична твердість – зменшення для модрина становить 7,11%, для інших порід практично не перевищує 2,5%; міцність при статичному згині знижується в діапазоні 5,94-8,33%; міцність при сколюванні для трьох порід (окрім ялини) зменшується в діапазоні 3,23-7,23%, а для ялини вона зростає на 3,08%; міцність при стиску вздовж волокон знижується в діапазоні 1,72-8,89%. Результати досліджень показників фізико-механічних властивостей ВЖД основних шпилькових порід дали змогу зрозуміти динаміку цих показників порівняно з ПД, розробити практичні рекомендації щодо ефективного матеріального перероблення, наповнити нормативну базу даних, а набуті знання використовувати під час розроблення математичних моделей для прогнозування характеристик конструкційних деревинних матеріалів.

Ключові слова: технології деревооброблення; фізико-механічні властивості; міцність; щільність; твердість; перероблення; деревинний ресурс.

¹ Гайда Сергій Володимирович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04, +38-067-791-25-22. E-mail: serhiy.hayda@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661>

² Кійко Орест Антонович – академік Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04, +38-067-989-80-88. E-mail: orest.kiyko@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5504-0278>

Вступ (Introduction). Незадіяним і додатковим ресурсом, який щорічно нагромаджується, є вживана деревина (ВЖД). Щорічний потенціал цього резерву деревинної сировини в Україні становить близько 2,0 млн тонн (Гайда, 2019б). Це важливе джерело деревинної сировини, через відсутність нормативної бази, науково-технічних основ використання, класифікації, технологічних розробок і практичних рекомендацій, не набуло ще належного використання деревообробними підприємствами України. Нами здійснено перші спроби описати технологію очищення і запропоновано технологію перероблення ВЖД на столярну плиту (Гайда, 2017; Гайда, Кійко, 2018; Gayda, & Kiyko, 2020a, 2020b) і на елементи виробів з деревини (Гайда, 2018).

Вирішуючи питання використання ВЖД у технологіях меблевого виробництва і деревооброблення, постало завдання дослідити механічні та фізичні визначальні характеристики зразків вживаної деревини шпилькових порід із дахових конструкцій ВЖД різного використання. Серед великої кількості показників механічних і фізичних визначальних характеристик зразків вживаної деревини шпилькових порід, із дахових конструкцій для подальшого розгляду виділено найхарактерніші та найнеобхідніші, що мають значення для використання ВЖД під час виготовлення щитових конструкційних матеріалів, зокрема у виробництві столярних плит. На сьогодні цей аспект є дуже важливим з погляду вирішення проблеми якнайповнішого використання сировинних деревинних ресурсів та утилізації деревинних відходів.

Аналіз основних показників ВЖД є актуальним завданням, вирішення якого забезпечить виготовлення якісних виробів з деревини з максимальним урахуванням особливостей механічних і фізичних визначальних характеристик зразків вживаної деревини із дахових конструкцій вторинного використання.

Основною проблемою є відсутність нормативних документів, що визначають механічні і фізичні характеристики зразків деревини різних шпилькових порід із дахових конструкцій вживаної та первинної деревини, і, як джерела додаткового сировинного ресурсу, для різних технологій деревооброблення.

Деревину, як основний сировинний ресурс для виготовлення виробів, постійно досліджують науковці, зокрема структуру, фізичні та механічні властивості, технологічні і реологічні показники (Ашкінази, 1980; Волынский, 2000; Уголев, 2004; Вінтонів, Сопушинський, Тайшингер, 2007; Максимчук, Сопушинський, Тімочко, 2017 та ін.). Проте ці дослідження обмежуються здебільшого первинною деревиною. На сьогодні немає наукових досліджень фізико-механічних властивостей вживаної (спожитої) деревини, тобто деревини, яка вже експлуатувалась у різних умовах та з часом могла змінити свої властивості. Знання динаміки фізико-

механічних властивостей вживаної деревини з віком є актуальною проблемою для наукових досліджень. Адже, знаючи властивості вживаної деревини різного віку, можна рекомендувати її для виготовлення тих чи інших виробів, а також прогнозувати характеристики нової продукції.

Дослідження вітчизняних і закордонних учених із зазначеної проблеми стосуються здебільшого використання виробничих деревинних відходів, без залучення ВЖД до процесу перероблення – виготовлення виробів. Результати досліджень свідчать, що ця проблема не є повністю вирішеною, тому що не розроблено наукової бази щодо властивостей ВЖД і відсутні практичні рекомендації для ефективних виробничих процесів з прогнозування характеристик продукції із ВЖД.

Перші спроби щодо можливості ефективного використання ВЖД у деревообробленні висвітлено у наших роботах (Гайда, 2017, 2019а, 2019б), де запропоновано шляхи матеріального використання цього ресурсу. Автор оцінив потенціал вживаної деревини, розробив класифікатор ВЖД, дослідив зміну показників ВЖД з віком на прикладі ялиці, запропонував використовувати її у виробництві столярних плит із прогнозованими властивостями.

Зарубіжні дослідники детально вивчали ВЖД з позиції отримання енергії, перероблення на технологічну тріску для отримання стружкових і волокнистих плит, з позиції впливу на довкілля та утилізації. Було розроблено різні положення про ВЖД, які обговорено на різних семінарах і конференціях (AltholzV, 2003; Verordnung über Anforderungen..., 2006; COST Action E 31, 2004).

У багатьох країнах низка науковців (Marutzky, 1997; Holzmann, 2005; Peek, 2006; Werner, Althaus, Richter, & Scholz, 2007; Mantau, Steierer, Hetsch, & Prins, 2008; Ratajczak, Szostak, Bidzinska, & Leszczyszyn, 2018 та ін.) широко вивчали забрудненість і характеристики ВЖД, яка стала визначальною щодо її класифікації, тобто приналежності до тієї чи іншої групи та використання. Наприклад, у Німеччині у 2006 р. прийнято «Положення про регулювання ВЖД» (Altholzverordnung – AltholzV), де наведено особливості поводження з цими відходами. В Україні Закони чи Постанови щодо використання деревинних відходів, зокрема про ВЖД та її класифікацію, відсутні.

Досвід використання ВЖД в європейських країнах показує, що цей ресурс ефективно переробляють та використовують зазвичай у подрібненому вигляді для виробництва ДСП на рівні 10-25% (EPF-2004, WRAP-2011) до загального об'єму стружки. Із аналізу наукових праць було зроблено висновок про те, що глибоким переробленням ВЖД на дерев'яні вироби практично не займались. Тому заслуговує на увагу питання отримання подальших знань про фізико-механічні властивості деревини порід, які ефективно використовують у меблевій і деревообробній галузях. Ми вказували на доцільність створення зведених таблиць основних показ-

ників ВЖД як основи для матеріального використання цього ресурсу (Гайда, 2019b).

Наведене вище підтверджує *актуальність проблеми* щодо експериментального визначення основних фізико-механічних властивостей вживаної деревини, насамперед шпилькових порід, встановлення динаміки цих показників порівняно з аналогічними властивостями первинної деревини, а також наповнення нормативної бази даних отриманими показниками, використання яких дало б змогу розробляти математичні моделі для прогнозування характеристик конструкційних деревинних матеріалів загалом, і в кінцевому результаті отримувати якісні та міцні меблеві вироби (Прокопович, Войтович, Гайда, Кшивецький, 2002; Дячун, 2007; Войтович, 2010).

Мета дослідження полягає у здійсненні порівняльного аналізу механічних і фізичних характеристик зразків вживаної деревини із дахових конструкцій із властивостями первинної деревини таких порід, які широко та ефективно застосовують під час створення різних дахових конструкцій великих і малих архітектурних форм, а саме – ялиці, ялини, сосни, модрина. Необхідно визначити, чи має вживана деревина шпилькових порід із дахових конструкцій достатні механічні та фізичні характеристики для виготовлення якісних виробів з деревини. У кінцевому підсумку здійснені експерименти присвячені встановленню можливості використання ВЖД у деревообробній і меблевій галузях.

Об'єкт дослідження – вживана деревина найпоширеніших шпилькових порід, що отримана із виробів після завершення терміну їхньої експлуатації. *Предмет дослідження* – експериментальне визначення основних фізико-механічних властивостей вживаної деревини досліджуваних порід та порівняння їх з аналогічними властивостями первинної деревини.

Основними завданнями досліджень у цій роботі є: обґрунтувати актуальність, доцільність і можливість матеріального використання ВЖД у технологіях деревооброблення для виробництва конструкційних матеріалів і складових елементів меблевих виробів; визначити основні фізико-механічні властивості ВЖД із завершеним терміном експлуатації з ялиці, ялини, сосни, модрина за показниками щільності, ударної і статичної твердості, міцності при статичному згині, міцності при сколюванні та міцності при стисканні вздовж волокон; встановити динаміку і здійснити порівняння отриманих фізико-механічних властивостей ВЖД із властивостями первинної деревини; сформулювати зведену таблицю з отриманих показників для наповнення нормативної бази даних фізико-механічними властивостями ВЖД досліджуваних порід.

Об'єкти і методика досліджень (Objects and methods). *Вхідними факторами досліджень* були вживана і первинна деревина сосни, ялиці, ялини та модрина. Визначено механічні та фізичні характеристики зразків вживаної деревини цих порід із дахових конструкцій з порівнянням

аналогічних показників із первинної деревини тих самих порід дерев.

Вихідні величини – механічні і фізичні визначальні характеристики зразків із дахових конструкцій вживаної та первинної деревини сосни, ялиці, ялини і модрина для порівняння, а саме: розрахункова вологість; показник ударної твердості; твердість статична при вдавлюванні кульки; показник міцності під час сколювання вздовж волокон; величина міцності при статичному вигині; величина міцності під час стискання зразка вздовж волокон.

Матеріалом для випробувань слугували крокви та лати, платви та великі балки, контрлати та інші піддашні вироби із дахових конструкцій хвойних порід закинutoї дерев'яної будівлі, що були ідентифіковані за породами. Для здійснення досліджень було підготовлено рейки відповідних перерізів, з яких виготовляли зразки для експериментів. Рейки витримували за кімнатної температури (рис. 1).



Рис. 1. Довгі дерев'яні рейки для виготовлення зразків

Fig. 1. Long wooden strips for making specimens

Розміри підготовлених зразків для випробувань у лабораторних умовах такі: для встановлення щільності – 30×20×20 мм; показника ударної твердості – 150×20×20 мм; показника статичної твердості – 50×50×50 мм; показника міцності при статичному вигині – 300×20×20 мм; показника міцності при сколюванні в лабораторних умовах вздовж волокон – 50×30×20 мм; показника міцності при стисканні – 60×30×30 мм (рис. 2).

У роботі використано такі методи досліджень: сортування – за породами та певними класифікаційними критеріями; очищення – для видалення зовнішніх поверхонь забруднювачів; оброблення – для перетворення очищеної ВЖД на зразки для випробувань; випробування експериментальних зразків – для визначення властивостей; математичної статистики – для оброблення результатів експериментальних досліджень.

Усі випробування проводили в лабораторії за температури 20 ± 5°C і вологості 40-65%. Підготовлені зразки ВЖД випробовували на сертифікованому обладнанні (згідно з ГОСТ 28840:1990) та апаратурі за апробованими методиками (методами визначення), регламентованих стандартами: ГОСТ 16483.1:1984; ГОСТ 16483.3:1984; ГОСТ 16483.5:1973; ГОСТ 16483.10:1973; ГОСТ 16483.16:1981; ГОСТ

16483.17:1981; EN 350-2:2004; EN 460:2018; ISO 3129:2019; Normen für Holz (2009). Вологість зразків для здійснення випробувань у лабораторних умовах вимірювали стандартним вологоміром. Випробування за такою методикою проводили

для зразків вживаної та первинної деревини. За результатами статистичної роботи (пакетів програми Microsoft Excel) виконували порівняльний аналіз за основними фізичними та механічними характеристиками досліджуваних порід.



Рис. 2. Види зразків для експерименту на статичну твердість і стискання
Fig. 2. Types of specimens for the experiment on static hardness and compression

Результати (Results). Порівняння щільності зразків за досліджуваними породами із ВЖД із дахових конструкцій та ПД цих же порід виявило відмінності в межах 5%. (рис. 3).

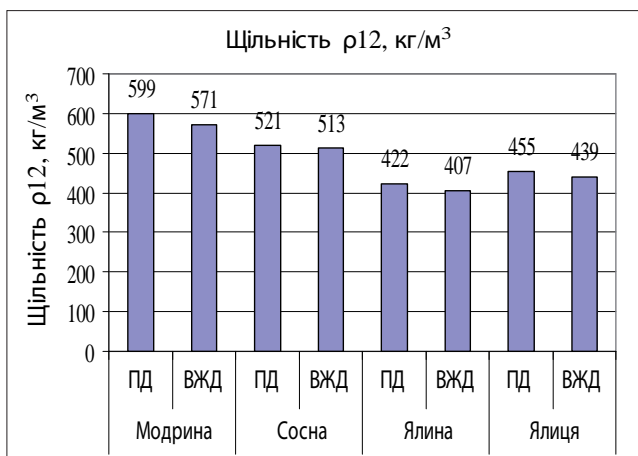


Рис. 3. Порівняльні дані щільності шпилькових порід
Fig. 3. Comparative data on the density of softwood species

За результатами визначення показника ударної твердості під час падіння кульки на зразки вживаної деревини досліджуваних порід встановлено, що відхилення від значень аналогічних експериментів для первинної деревини становили не більше 2% (рис. 4 і 5).

Під час визначення показника статичної твердості при стиску зразків ВЖД досліджуваних порід отримано значення параметрів, які не перевищують 1-2% порівняно із випробуваннями зразків тих же порід із ПД (рис. 6 і 7).

За результатами проведення експерименту на визначення показника міцності на статичний згин на зразках із ВЖД шпилькових порід, зокрема ялиці, ялини, сосни та модрини, отримано відхилення в межах 5-10% залежно від породи порівняно із випробуваннями над зразками із ПД тих же порід (рис. 8 і 9).



Рис. 4. Проведення експерименту на ударну твердість
Fig. 4. Conducting an experiment on impact hardness

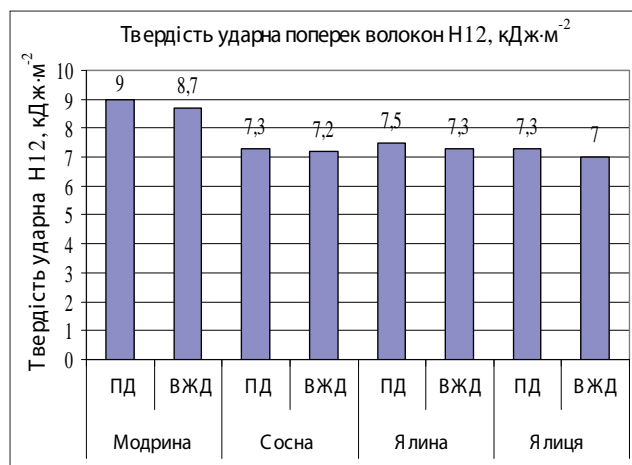


Рис. 5. Порівняльні дані показників ударної твердості шпилькових порід

Fig. 5. Comparative data on the impact hardness of softwood species

Також експериментально виявлено відхилення показників міцності при сколюванні в лабораторних умовах під час випробування зразків із ВЖД досліджуваних шпилькових порід, які становили не більше 8% порівняно із випробуваннями над зразками із ПД (рис. 10 і 11).



Рис. 6. Проведення експерименту на статичну твердість

Fig. 6. Conducting an experiment on static hardness

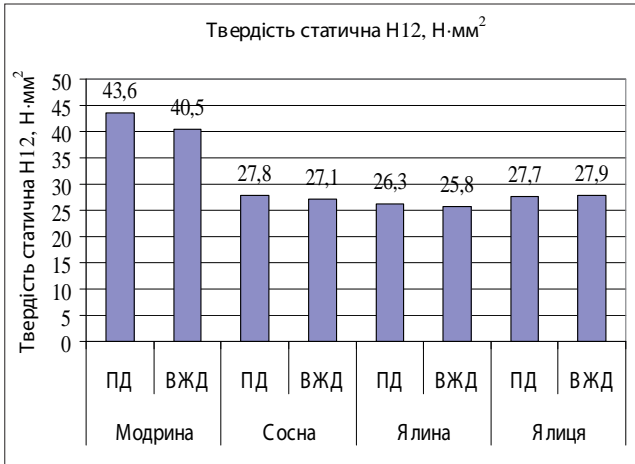


Рис. 7. Порівняльні дані показників статичної твердості шпилькових порід

Fig. 7. Comparative data on static hardness of softwood species



Рис. 8. Проведення експерименту на статичний згин

Fig. 8. Conducting an experiment for determining the cross-breaking strength

Лабораторний експеримент на стиск зразків досліджуваних порід із ВЖД також показав незначні відхилення порівняно із аналогічними випробуваннями над зразками із ПД тих же порід (рис. 12 і 13).

Результати досліджень фізико-механічних показників деревини ялиці, ялини, сосни та модрина зведено у підсумкову табл. 1.

Кожен із отриманих вище показників підлягав статистичному обробленню. Результати статистичної обробки даних деревини із дахових конструкцій на прикладі сосни наведено у табл. 2.

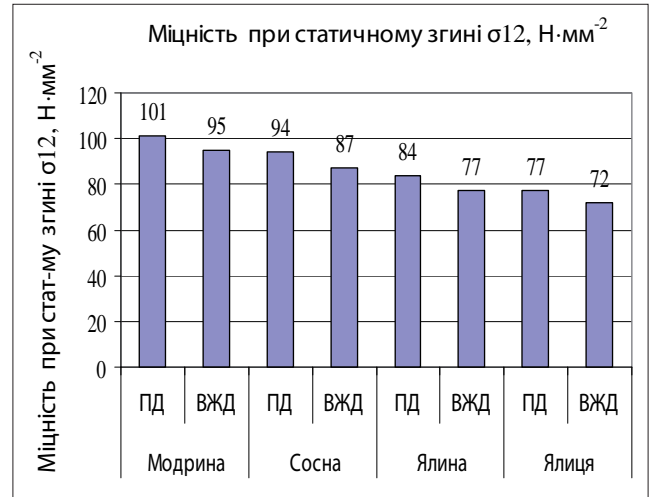


Рис. 9. Порівняльні дані міцності при статичному згині зразків шпилькових порід

Fig. 9. Comparative data on cross-breaking strength of softwood species

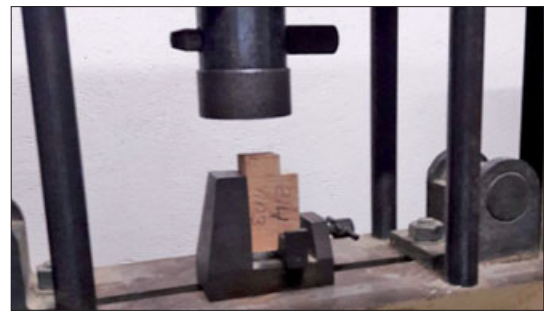


Рис. 10. Експеримент на міцність при сколюванні вздовж волокон

Fig. 10. Experiment for determination of ultimate shearing strength parallel to grain

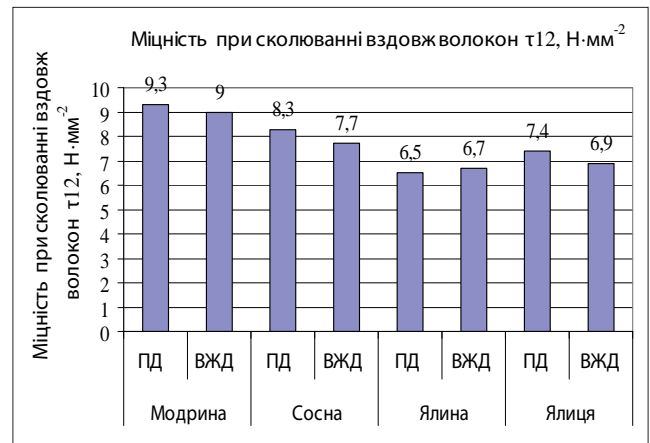


Рис. 11. Порівняльні дані міцності при сколюванні зразків шпилькових порід

Fig. 11. Comparative data on ultimate shearing strength parallel to grain of softwood species

Для побудови стовпчикової гістограми мінімальних, максимальних та усереднених статистичних показників деревини сосни (ВЖД та ПД)

із дахових конструкцій використано зведені дані з табл. 2 (рис. 14).

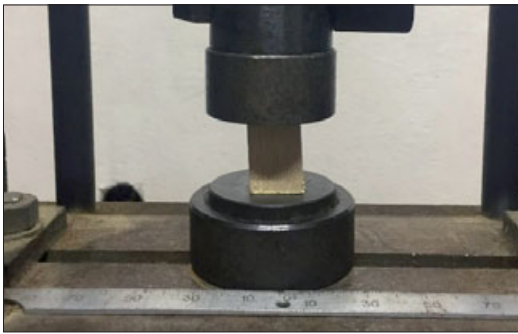


Рис. 12. Експеримент на визначення міцності при стиску вздовж волокон

Fig. 12. Experiment for determination of compression strength parallel the grain

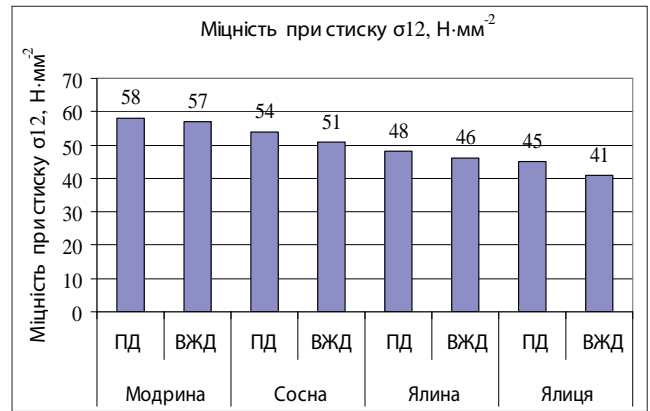


Рис. 13. Порівняльні дані міцності при стиску зразків вздовж волокон

Fig. 13. Comparative data on ultimate compression strength parallel the grain

Таблиця 1

Фізичні та механічні характеристики вживаної і первинної деревини
Table 1. Physical and mechanical characteristics of PCW and primary wood

Фізична та механічна характеристика	Шпилькові породи із дахових конструкцій							
	Модрина		Сосна		Ялина		Ялиця	
	ПД	ВЖД	ПД	ВЖД	ПД	ВЖД	ПД	ВЖД
Щільність 12%, кг/м ³	599	571	521	513	422	407	455	439
Ударна твердість, МПа	9	8,7	7,3	7,2	7,5	7,3	7,3	7
Статична твердість, МПа	43,6	40,5	27,8	27,1	26,3	25,8	27,7	27,9
Міцність при згині, МПа	101	95	94	87	84	77	77	72
Міцність при сколюванні, МПа	9,3	9	8,3	7,7	6,5	6,7	7,4	6,9
Міцність при стиску, МПа	58	57	54	51	48	46	45	41

Таблиця 2

Результати статистичного оброблення показників деревини сосни
Table 2. The results of statistical processing of pine wood

Вид	Статистичний показник деревини сосни (ВЖД та первинної)	N, шт	$M_{\text{ср}}$	M_{min}	M_{max}	\pm	V, %	P, %
ПД	Щільність 12%, кг/м ³	40	521,0	449,6	572,6	6,54	8,52	1,35
	Ударна твердість, МПа	40	7,3	6,3	8,0	0,07	6,58	1,04
	Статична твердість, МПа	40	27,8	24,0	30,6	0,28	6,74	1,07
	Міцність при згині, МПа	40	94,0	81,1	103,3	0,80	5,76	0,91
	Міцність при сколюванні, МПа	40	8,3	7,2	9,1	0,06	5,12	0,81
	Міцність при стиску, МПа	40	54,0	46,6	59,3	0,40	5,06	0,80
ВЖД	Щільність 12%, кг/м ³	40	513,0	442,7	563,8	6,66	8,81	1,39
	Ударна твердість, МПа	40	7,2	6,2	7,9	0,07	6,24	0,99
	Статична твердість, МПа	40	27,1	23,4	29,8	0,31	7,69	1,22
	Міцність при згині, МПа	40	87,0	75,1	95,6	0,68	5,28	0,84
	Міцність при сколюванні, МПа	40	7,7	6,6	8,5	0,08	7,05	1,11
	Міцність при стиску, МПа	40	51,0	44,0	56,0	0,39	5,22	0,83

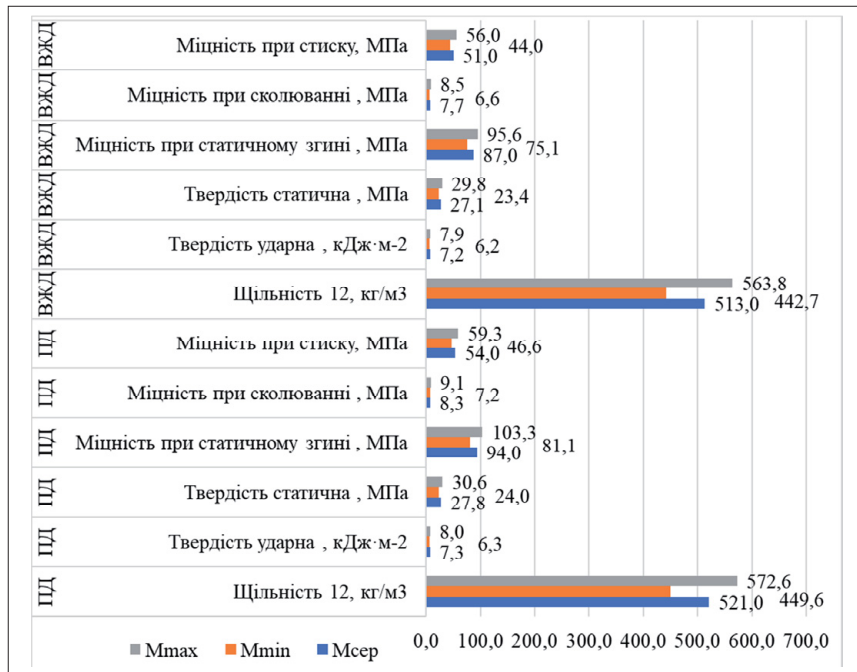


Рис. 14. Порівняльні гістограми зведених показників фізико-механічних властивостей вживаної та первинної деревини сосни

Fig. 14. Comparative histograms of summary indicators of physical and mechanical properties of used and primary pine wood

Дискусія (Discussion). Найбільшу відмінність у величині показника щільності встановлено для деревини модрина, де для ПД він становить 599, а для ВЖД – 571 кг/м³, що менше на 4,67%. Для інших порід таке зменшення становить: ялини – 3,55%, ялиці – 3,52%, сосни – 1,54%. Отже, результати досліджень підтвердили не суттєве зменшення щільності ВЖД порівняно із ПД, яке практично не перевищує 5%. Подібні результати знаходимо у працях інших дослідників (Максимчук, Сопушинський, & Тімоцько, 2017), проте зазначені автори визначали тільки базисну щільність прямоволоконистої та хвилясто-завилькуватої деревини ялиці, не охоплюючи дослідженнями деревину інших порід, і, тим більше, не акцентуючи уваги на зміну щільності деревини з віком.

Також з віком змінився показник ударної твердості, зокрема у бік зменшення для всіх порід. Найбільшу відмінність у величині показника ударної твердості зафіксовано для деревини ялиці, де для ПД вона становить 7,3, а для ВЖД – 7,0 МПа (відхилення 4,11%). Для інших порід таке зменшення становить: ялини – 2,67%, модрина – 3,33% і найменше для сосни – 1,37%. Отже, результати досліджень підтвердили не суттєве зменшення ударної твердості у ВЖД порівняно із ПД, яке не перевищує 4,5%. Радіальну ударну твердість деревини окремих порід вивчав Б. Н. Уголев (2004), але дослідженнями не охоплено деревину основних шпилькових порід та не досліджено деревину після завершення терміну її експлуатації.

Значення показника статичної твердості помітно відрізняється від такого для ударної твердості. Так, найбільшу відмінність встановлено для деревини

модрина, де для ПД він становить 43,6, а для ВЖД – 40,5 МПа (відхилення 7,11%). Для інших порід таке зменшення становить: для ялини – 1,90%, сосни – 2,52%. Поряд з цим, для деревини ялиці спостережено незначне збільшення – на 0,72%. Результати досліджень підтвердили найбільше зниження показника статичної твердості для деревини модрина та не суттєве – для ВЖД інших шпилькових порід порівняно із ПД, яке не перевищує 2,5%. Зазначено (Вінтонів, Сопушинський, Тайшингер, 2007), що за величиною статичної твердості модрина належить до твердих порід, а сосна, ялиця та ялина – до м'яких, оскільки у них значення цього показника не перевищує 40 МПа. Проте відсутні дані щодо зміни статичної твердості за терміном експлуатації деревини.

Серед досліджуваних показників найбільшу відмінність спостережено під час дослідження такого показника, як міцність при статичному згині. Так, для ялини цей показник для ПД становить 84, а для ВЖД – 77 МПа, що на 8,33% менше. Для інших порід зменшення становить: ялиці – 6,49%, модрина – 5,94% та сосни – 7,45%. Отже, за результатами досліджень зменшення міцності при згині у ВЖД порівняно із ПД, не перевищує 8,5%.

Зміна міцності при сколюванні суттєво відрізняється від зміни міцності при статичному згині. Так, найбільшу відмінність у величині показника міцності при сколюванні зафіксовано для деревини сосни (7,23%), де для ПД вона становить 8,3, а для ВЖД – 7,7 МПа. Для модрина таке зменшення становить 3,23%, для ялиці – 6,76%, тоді як для деревини ялини спостерігаємо деяке збільшення – на 3,08%. Результати досліджень показали найбільше

зниження цього показника між ПД та ВЖД для сосни та не суттєві зміни міцності при сколюванні у деревини інших шпилькових (не більше 7,0%).

Також з віком змінився показник міцності при стиску вдовж волокон, насамперед у бік зменшення для всіх порід. Найбільшу відмінність у величині показника міцності деревини при стиску вдовж волокон встановлено для ялиці, де для ПД він становить 45, а для ВЖД – 41 МПа (зниження на 8,89%). Для інших порід таке зниження становить: ялини – 4,17%, сосни – 5,56%, модрина – 1,72%. Отже, результати досліджень показали незначне зменшення міцності при стиску вдовж волокон для деревини модрина, тоді як для інших порід цей показник для ВЖД дещо більший, однак не перевищує 9,0%. За результатами наших попередніх досліджень (Гайда, 2018) встановлено, що ВЖД шпилькових порід може ефективно використовуватись для виготовлення конструктивних елементів меблевих виробів, оскільки має високі показники міцності на стиск вздовж волокон.

Отже, за результатами досліджень отримано та встановлено динаміку фізико-механічних показників ВЖД шпилькових порід та з'ясовано, що з часом експлуатації за різних умов вони змінюються, в основному, у бік зменшення: щільності – на 1,54-4,67%; ударної твердості – на 1,37-4,11%; статичної твердості – на 0,72-7,11%; міцності при статичному згині – на 5,94-8,33%; міцності при сколюванні – на 3,08-7,23%; міцності при стиску вдовж волокон – на 1,72-8,89%.

Висновки (Conclusions). Потенційним і додатковим резервом деревинної сировини в Україні є ВЖД, яку доцільно використовувати в технологіях деревооброблення для виробництва конструкційних матеріалів та у виготовленні складових елементів меблевих виробів.

Фізико-механічні властивості ВЖД ялиці, ялини, сосни і модрина зменшуються порівняно з аналогічними показниками первинної деревини. Так, щільність зменшується не більше ніж на 4,7%; ударна твердість знижується не більше ніж на 4,1%; статична твердість – на 7,1%; міцність при статичному згині – на 8,33%; міцність при сколюванні зменшується не більш як на 7,2%, однак для ВЖД ялини вона зростає на 3,1%; міцність при стиску вдовж волокон знижується не більше ніж на 8,9%.

Основні причини вікових змін властивостей ВЖД зумовлені такими чинниками: *біологічними* – вивітрюванням, частковою внутрішньою гнилизною, пошкодженням комахами; *механічними* – сколи, подряпини, невеликі отвори від засобів кріплення та інші дефекти від користування; *експлуатаційними* – впливом силових і динамічних навантажень, впливом поверхневих засобів оздоблення та інших чинників на елементи конструкцій виробів з деревини. Знаючи динаміку фізико-механічних властивостей ВЖД з віком, можна рекомендувати цей додатковий деревинний матеріал для виготовлення конструкційних матеріалів: з механічними пошкодженнями, видимими на поверхні, та зміна-

ми кольору – для виготовлення столярних плит; з якісними поверхнями – для виготовлення меблевих щитів.

Список літератури (References)

- Ашкенази, Е.К. (1980). *Анизотропия древесины и древесных материалов*. Москва: Лесная промышленность [Ashkenazi, Ye.K. (1980). *Anisotropy of wood and wood materials*] (in Russian)
- Вінтонів, І.С., Сопушинський, І.М., Тайшингер, А. (2007). *Деревинознавство*. Львів: Апріорі [Vintoniv, I.S., Sopushynskyy, I.M., & Teishinger, A. *Wood science*. Lviv: Apriori] (in Ukrainian)
- Волынский, В.Н. (2000). *Взаимосвязь и изменчивость физико-механических свойств древесины*. Архангельск: Изд-во Архангельского гос. техн. ун-та [Volynskyy, V.N. *Interconnection and variability of physical and mechanical properties of wood*. Arkhangelsk: Publishing house of the Arkhangelsk State Technical University] (in Russian)
- Войтович, І.Г. (2010). *Основи технології виробів з деревини*. Львів: Країна ангелів [Voytovych, I.G. *Fundamentals of wood products technology*. Lviv: Country of Angels] (in Ukrainian)
- Гайда, С.В. (2019а). Науково-технічні основи використання вживаної деревини в деревообробці: дис. ... д-ра тех. наук: 05.23.06 / Національний лісотехнічний університет України. Львів, 465 с. [Gayda, S.V. (2019). *Scientific and technical basis of post-consumer wood use in woodworking*: Dissertation of the Doctor of Technical Sciences. Ukrainian National Forestry University. Lviv, Ukraine. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/1vwVTBx916K9D1kq1Ji9rFmLpHOysCH8P/view>] (in Ukrainian)
- Гайда, С.В. (2017). Комплексні дослідження зміни пружних властивостей вживаної деревини ялиці з віком. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 43, 58-72. [Gayda, S.V. (2017). The complex studies on the change of elastic properties of post-consumer fir wood with age. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 43, 58-72. <https://doi.org/10.36930/42174308>] (in Ukrainian)
- Гайда, С.В. (2019b). Визначення та порівняння властивостей вживаної деревини основних хвойних порід. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 45, 38-49. [Gayda, S.V. (2019). A determination and comparison of properties of post-consumer wood of the basic conifers. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 45, 38-49. <https://doi.org/10.36930/42194506>] (in Ukrainian)
- Гайда, С.В. (2018). Міцність комбінованих столярних плит із вживаної деревини. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*, 197, 3-9. [Gayda, S.V. (2018). Strength of combined blockboard made of post-consumer wood (PCW). *Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical Univer-*

- sity of Agriculture, 197, 3-9. Retrieved from <http://dspace.khntusg.com.ua/handle/123456789/8405>] (in Ukrainian)
- Гайда, С. В., Кійко, О. А. (2018). Формостійкість як критерій якості столярних плит із живаної деревини. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 17, 185-192. [Gayda, S. V., & Kiyko, O. A. (2018). Shape stability as a quality criterion for PCW-made blockboards. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 17, 185-192. <https://doi.org/10.15421/411834>] (in Ukrainian)
- ГОСТ 16483.1:1984 (1985). *Древесина. Метод определения плотности*. [Введен в действие от 1985-02.01]. Москва: Издательство стандартов. [GOST 16483.1:1984 (1985). *Wood. Method for determination of density*. [Effective from 1985-02.01]. Moscow: Publishing house of standards] (in Russian)
- ГОСТ 16483.3:1984 (1985). *Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе*. [Введен в действие от 1985-07.01]. Москва: Издательство стандартов. [GOST 16483.3:1984 (1985). *Wood. Method for determining the cross-breaking strength*. [Effective from 1985-07.01]. Moscow: Publishing house of standards] (in Russian)
- ГОСТ 16483.5:1973 (1974). *Древесина. Методы определения предела прочности при скалывании вдоль волокон*. [Введен в действие от 1974-07.01]. Москва: Издательство стандартов. [GOST 16483.5:1973 (1974). *Wood. Methods for determination of ultimate shearing strength parallel to grain*. [Effective from 1974-07.01]. Moscow: Publishing house of standards] (in Russian)
- ГОСТ 16483.10:1973 (1974). *Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон*. [Введен в действие от 1974-07.01]. Москва: Издательство стандартов. [GOST 16483.10:1973 (1974). *Wood. Methods for determination of ultimate compression strength parallel the grain*. [Effective from 1974-07.01]. Moscow: Publishing house of standards] (in Russian)
- ГОСТ 16483.16:1981 (1983). *Древесина. Метод определения ударной твердости*. [Введен в действие от 1983-01.01]. Москва: Издательство стандартов. [GOST 16483.16:1981 (1983). *Wood. Method for determination of impact hardness*. [Effective from 1983-01.01]. Moscow: Publishing house of standards] (in Russian)
- ГОСТ 16483.17:1981 (1983). *Метод определения статической твердости*. [Введен в действие от 1983-01.01]. Москва: Издательство стандартов. [GOST 16483.17:1981 (1983). *Wood. Method for determination of static hardness* [Effective from 1983-01.01]. Moscow: Publishing house of standards] (in Russian)
- ГОСТ 28840:1990 (1993). *Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования*. [Введен в действие от 1993-01.01]. Москва: Издательство стандартов. [GOST 28840:1990 (1993). *Machines for tension, compression and bending testing of materials. General technical requirements*. [Effective from 1993-01.01]. Moscow: Publishing house of standards] (in Russian)
- 10.01]. Moscow: Publishing house of standards] (in Russian)
- Дячун, З. Й. (2007). *Конструювання меблів. Корпусні вироби*. Київ: Києво-Могилянська академія [Dyachun, Z. J. (2007). *Furniture design: Cabinet products*. Kyiv: Mohyla Academy House] (in Ukrainian)
- Максимчук, Р. Т., Сопушинський, І. М., Тімочко, І. Я. (2017). Особливості формування річного кільця та базисної щільності прямоволоконистої та хвилясто-завилькуватої деревини *Abies alba* Mill. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*, 27.9, 30-33. [Maksymchuk, R. T., Sopushynskyy, I. M., & Timochko, I. Ya. (2017). Some Features of formation of annual ring and basic density of straight-grained and wavy-grained wood *Abies alba* Mill]. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 27 (9), 30-33. <https://doi.org/10.15421/40270906>] (in Ukrainian)
- Прокопович, Б. В., Войтович, І. Г., Гайда, С. В., Кшивецький, Б. Я. (2002). *Тлумачний словник з деревооброблення*. Львів: Ромус-Поліграф [Prokopovych, B. V., Voytovych, I. G., Gayda, S. V., & Kshyvetskyuy, B. Ya. (2002). *Explanatory dictionary from Woodworking*. Lviv: Romus-Polygraph] (in Ukrainian)
- Уголев, Б. Н. (2004). *Древесиноведение и лесное товароведение*. Москва: Академия [Ugolev, B. N. (2004). *Timber science and forest merchandising*. Moscow: Academy] (in Russian)
- AltholzV (2003). *Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz* (Altholzverordnung – AltholzV), Art. 1a der Verordnung vom 1. März 2003. BGBl. I.: 3302-3317 [AltholzV (2003). Ordinance on requirements for the utilization and disposal of waste wood (waste wood ordinance – AltholzV), Art. 1a of the ordinance of March 1, 2003. Federal Law Gazette I.: 3302-3317. Retrieved from <https://www.gesetze-im-internet.de/altholzv/AltholzV.pdf>] (in German)
- COST Action E 31. (2004). National summary reports on the European market of recovered wood. 335 p. Retrieved from <https://www.cost.eu/actions/E31/>
- EN 350-2:1994. *Durability of wood and wood-based products*. Natural durability of solid wood. Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe. British Standard: London, BSI, 389 Chiswick High Road, W4 4AL
- EN 460:2018. *Durability of wood and wood-based products*. Natural durability of solid wood. Guide to the durability requirements for wood to be used in hazard classes. British Standard: London, BSI, 389 Chiswick High Road, W4 4AL
- Gayda, S. V., & Kiyko, O. A. (2020a). Determining the regime parameters for the surface cleaning of post-consumer wood by a needle milling tool. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 [107]), 89-97. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212484>
- Gayda, S. V., & Kiyko, O. A. (2020b). The investigation of properties of blockboards made of post-con-

- sumer wood. *Drewno*, 63 (206), 77-102. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.352.10>
- Holzmann, M. (2005). *Management von Altholz in Österreich – Mengen, Qualitäten, Aufbereitung, Verwertung*. Pinkafeld: Diplomarbeit an der Fachhochschule Burgenland [Holzmann, M. (2005). *Management of waste wood in Austria – quantities, qualities, processing, recycling*. Pinkafeld: Diploma thesis at the Burgenland University of Applied Sciences. Retrieved from <https://fhhburgenland.contentdm.oclc.org/digital/collection/p16083coll1/id/277353/>] (in Germany)
- ISO 3129:2019 (2019). *Wood – Sampling methods and general requirements for physical and mechanical testing of small clear wood specimens*. [Effective from 2019-11.01]. (Published in Switzerland: CH-1214 Vernier, Geneva). Retrieved from <https://www.iso.org/standard/74839.html>
- Mantau, U., Steierer, F., Hetsch, S., & Prins, Ch. (2008). Wood resources availability and demands – Part I National and regional wood resource balances 2005; Background paper to the UNECE/FAO Workshop on Wood balances, Geneva, 2008: UNECE/FAO Retrieved from https://unece.org/fileadmin/DAM/timber/workshops/2008/wood-balance/docs/wood%20availability_part1_final.pdf
- Marutzky, R. (1997). Qualitätsanforderungen und Entsorgungswege für Rest- und Gebrauchtholz. In: *Alt- und Restholz – Energetische und stoffliche Verwertung, Beseitigung, Verfahrenstechnik, Logistik* (ss. 114-118). Düsseldorf: VDI-Verlag [Marutzky, R. (1997). Quality requirements and disposal methods for residual and used wood. In: *Waste and residual wood – energy and material recycling, disposal, process engineering, logistics* (pp. 114-118). Dusseldorf: VDI publishing house. Retrieved from https://www.iuta.de/igf-docs/11451_kurzbericht_holz.pdf] (in Germany)
- Normen für Holz (2009). *DIN-Taschenbuch 31*. [8^{te} Aufl.]. Berlin: Beuth [Wood Standards (2009). DIN paperback 31. [8th edition]. Berlin: Beuth. Retrieved from <https://www.amazon.de/Normen-%C3%BCber-Holz-DIN-V/dp/3410174486>] (in Germany)
- Peek, R.-D. (2006). *German experience on wood residues*. BFH, Leuschnerstr, 91, D-21031. Hamburg: Federal Research Center for Forestry and Forest Products Retrieved from <http://cdi.mecon.gov.ar/bases/docelec/az1652.pdf>
- Ratajczak, E., Szostak, A., Bidzinska, G., & Leszczyszyn, E. (2018). *Market in wood by-products in Poland and their flows in the wood sector*. *Drewno*, 61 (202), 5-20. Retrieved from file:///C:/Users/New/Downloads/Market_in_wood_by_products_in_Polan.pdf <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.301.05>
- Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz V (Altholzverordnung)* (2006). Art. 2a der Verordnung vom 20. BGBl. I, 48, 2298, 2331 [Ordinance on Requirements for the Use and Disposal of Waste Wood V (Waste Wood Ordinance) (2006). Article 2a of the Ordinance of the 20th Federal Law Gazette I, 48, 2298, 2331. Retrieved from https://beck-online.beck.de/?vpath=bibdata/komm/LaRoKoUmwR_57/ges/AltholzV/cont/LaRoKoUmwR.AldholzV%2Ehtm] (in Germany)
- Werner, F., Althaus, H.-J., Richter, K., & Scholz, R. W. (2007). Post-Consumer Waste Wood in Attribute Product LCA. Context specific evaluation of allocation procedures in a functionalistic conception of LCA. *Int J LCA*, 12 (3), 160-172. <https://doi.org/10.1065/lca2006.05.249>

Post-consumer wood properties as an important factor in the quality of constructional materials

S. Gayda¹, O. Kiyko²

An additional and underutilized resource that accumulates annually is post-consumer wood. The annual potential volume of this resource of wood raw material in Ukraine is about 2.0 million tons. This important source of wood raw materials, due to the lack of a regulatory framework, scientific and technical foundations for use, classification, technological developments and practical recommendations, has not yet received proper use at woodworking enterprises in Ukraine. We have made the first attempts to study the physical and mechanical properties of the post-consumer wood and suggest ways to use it.

Among a variety of indicators of the mechanical and physical characteristics of used wood specimens from roof structures, we have identified the most important ones that are important for the use of such wood in the manufacture of panel structural materials, in particular in the production of blockboards.

It is substantiated that the identification of the main indicators of post-consumer wood (PCW), and their comparison with the same indicators of primary wood (PW), in particular, the main softwood species, is an urgent scientific problem, since provisioning the regulatory database will ensure the manufacture of high-quality wood products with maximum consideration of the mechanical and physical characteristics of this potential reserve of raw materials, which is advisable to use in woodworking technologies for the production

¹ Serhiy Gayda – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University. 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-238-45-04, +38-067-791-25-22. E-mail: serhiy.hayda@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661>

² Orest Kiyko – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University. 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-238-45-04, +38-067-989-80-88. E-mail: orest.kiyko@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5504-0278>

of structural materials and components of furniture products.

Physico-mechanical parameters of PW and PCW of pine, spruce, fir and larch were identified and it was found that with time of operation under different conditions they change, mainly towards decreasing their values: density – by 1.54-4.67%; impact hardness – by 1.37-4.11%; static hardness – by 0.72-7.11%; cross-breaking strength – by 5.94-8.33%, shearing strength – by 3.08-7.23%; compressive strength along the fibers – by 1.72-8.89%.

The main causes of age-related changes in the properties of PCW are due to the following factors: *biological* – partial internal rot, weathering, insect damage; *mechanical* – scratches, shearing, small holes from fasteners and other defects from use; *operational* – the influence of dynamic and power loads, surface finishes and other factors on structural elements of

wood products. Possessing the obtained indicators and knowing the change in the physical and mechanical properties of PCW with age, we can recommend this additional wood material for the manufacture of structural materials: with mechanical damage visible on the surface and color changes – for the manufacture of blockboards; with high-quality surfaces – for the manufacture of furniture panels

The results of studying the indicators of the physical and mechanical properties of PCW of the main softwood species made it possible to understand the nature of the change in these indicators in comparison with PW, to elaborate practical recommendations for efficient material processing, and to fill the regulatory database.

Key words: woodworking technologies; physical and mechanical properties; strength; density; hardness; processing; wood resource.