УДК 674 *Доц. Й.В. Андрашек, канд. техн. наук – НЛТУ України;*
Інж. О. Петросюк – ТзОВ «Анерухомість»

Методи просочування і термічної модифікації деревини

Конструкційні матеріали класифікуються за кількома основними групами, такими як метали, кераміка, полімери та композити. Натуральна деревинаодин з найстаріших матеріалів, що використовуються людьми. Сьогодні для задоволення потреб сучасної архітектури і дизайну доступні велика кількість матеріалів з різними естетичними і фізичними властивостями, і вибір потрібного матеріалу може бути проблемою в багатьох випадках. Однак, економічна точка зору може бути вирішальним фактором у виборі матеріалу. Матеріал може містити ідеальний набір властивостей, але бути непомірно дорогим.

Крім нейтрального впливу на навколишнє середовище, деревина має велику кількість позитивних властивостей, які сприяють його використанню в багатьох областях застосування. Сприятливими властивостями є, серед іншого, легкість в обробці, хороша теплоізоляція і висока міцність у порівнянні з вагою. Однак деревина має і негативні властивості, такі як; вразливість до вологи, біологічних пошкоджень. Завдяки своїй гігроскопічній природі деревина змінює свою форму, розміри і біологічну стійкість при зміні вологості. Всихання і розбухання деревини змінюються між напрямками вздовж і поперек волокон через свою анізотропну природу. Наведено аналіз методів просочення і термічної модифікації деревини з метою покращення її експлуатаційних характеристик.

Ключові слова: рівноважна вологість деревини; термічно модифікована деревина; вакуум; зольність термічно модифікованої деревини; термогравіметричний метод; ваговий метод.

УДК 674 *Доц. С.В. Гайда, канд. техн. наук – НЛТУ України*

КОМПЛЕКСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВЖИВАНОЇ ДЕРЕВИНИ ЯЛИЦІ З ВІКОМ

Досліджено пружні властивості ВЖД ялиці різного віку (за терміном експлуатації), оскільки відсутні нормативні документи, що визначають фізико-механічні властивості вживаної деревини різного віку, які потрібні для прогнозування характеристик отриманих майбутніх виробів. Досліджено характеристики ВЖД поширеної породи ялиці в діапазоні користування від 0 до 20 років, з проміжним контролюванням властивостей через кожні 5 років. Визначено пружні (механічні) властивості ВЖД за такими показниками: міцність при статичному згині, модуль пружності при стиску, модуль пружності при статичному згині, модуль зсуву, коефіцієнти поперечної деформації, знайдено відносні деформації, визначено графічно залишкові деформації. Встановлено, що з часом експлуатації в різних умовах, зокрема на відкритому повітрі, механічні властивості змінились, в основному, у бік зменшення. Проаналізовано, що коефіцієнти поперечної деформації також змінюються і, виходячи із припущення про існування пружного потенціалу, мають виконуватись такі умови при яких ВЖД може характеризуватися як ортогональний трансверсально-ізотропний матеріал (особливо в клеєних конструкціях), як окремий випадок ортотропного. Доповнено базу даних показниками – механічними властивостями ВЖД різного віку деревини ялиці.

Ключові слова: вживана деревина, механічні властивості, пружні характеристики, міцність, модуль пружності, модуль зсуву, деформація, ялиця.

Аналіз літературних джерел. Деревина, як основний сировинний ресурс для виготовлення виробів з деревини, перебувала під постійним дослідження широкого кола науковців, що вивчали її з різних аспектів: структуру, фізичні та механічні властивості. Широко відомі праці таких науковців як Уголєв Б.Н., Боро-

виков А.М. [4], Сопушинський І.М, Вінтонів І.С. [2, 28], Ашкеназі Е.К. [1], Ванин С.І. та інші, які проводили дослідження за такими основними напрямами як мікро- та макроструктура деревини, фізико-механічні властивості, технологічні та реологічні властивості, просочування та захист деревини.

Науковець Стріха І.А. досліджував напруження в деревині стовбурів та максимальні вологість у зростаючих деревах. Дослідник Цибик Б.Й. свої праці присвячував вивченню структури і фізико-механічних властивостей деревини хвойних порід українських Карпат (ялиці білої, ялини європейської, сосни звичайна, дугласії, тиса ягідного), залежно від типу лісорослинних умов. Праці Бродовича Т.М. присвячені дослідженню біологічних особливостей деревних порід та чагарників.

Деякі вчені детально вивчали властивості деревини конкретних порід Жуков А.Б. (дуба), Єгоренко С.Л. (ясен), Шевченко В.П. (модрина), Вінтонів І.С. (явір), Сопушинський І.М. (бука лісового), Максимчук Р.Т. (ялиця біла) [17, 18]. Інші дослідники вивчали тільки конкретні показники Полубоярінов О.І. (щільність), Ашкеназі Е.К. (анізотропію) [1], Баженов В.А. (п'єзоелектричні властивості), Уголєв Б.Н. (деформативність деревини), Харук Е.В. (проникність деревини газами та рідинами), Сопушинський І.М. (декоративні властивості) [28], Максимчук Р.Т. (розбухання) [17], Чудинов Б.С. (воду в деревині) та інші.

Але є одна особливість, всі їхні дослідження були присвячені первинній деревині. Сьогодні відсутні наукові дослідження фізико-механічних властивостей вживаної (спожитої) деревини, тобто деревини, яка вже експлуатувалась в різних умовах та з часом могла змінити свої властивості. Знання динаміки змін фізико-механічних властивостей вживаної деревини з віком є актуальною проблемою для досліджень. Адже, знаючи властивості вживаної деревини різного віку можна рекомендувати її для виготовлення тих чи інших виробів, а також прогнозувати характеристики нової продукції.

Стан питання. Вирішуючи питання використання ВЖД в технологіях деревообробки, постало завдання дослідити фізико-механічні властивості ВЖД різного віку основних порід [2-4]. Дослідження і аналіз основних показників ВЖД є актуальним завданням, рішення якого забезпечить виготовлення якісних виробів з деревини з максимальним урахуванням особливостей фізико-механічних властивостей матеріалів вторинного використання [5-9]. Проблема - відсутність нормативних документів, що визначають фізико-механічні властивості ВЖД різних порід деревини різного віку, як джерела додаткового сировинного ресурсу для різних технологій деревообробки. Проведено порівняльний аналіз властивостей ВЖД різного віку з властивостями первинної деревини такої породи як ялиця, яка у великому обсязі використовуються деревообробці. У кінцевому підсумку, результати проведених експериментів необхідні при дослідженні прогнозування властивостей виробів із ВЖД.

Сьогодні існує ціла серія стандартів ДСТУ ГОСТ 16483.0-39 різних років випуску, які надають методику для виконання різних досліджень над деревиною [10-16]. Крім того, орієнтиром під час одержання фізико-механічних та технологічних показників хвойних, кільцесудинних та розсіяносудинних порід є Європейські нормативні документи EN 350-2:1994, EN 460:2018.

Серед великої кількості показників фізико-механічних властивостей деревини для подальшого розгляду виділили найбільш характерні та необхідні, що

мають значення для використання ВЖД, зокрема у виробництві столярних плит. До таких належать показники, що характеризують пружні властивості цього сировинного додаткового ресурсу, зокрема:

- Міцність при статичному згині σ;
- Модуль пружності при статичному згині E;
- Мод. пружності при стиску E_α , E_r , E_t;
- Коефіцієнт поперечної деформації μ;
- Модулі зсуву G;
- Величини залишкових напружень у вигляді епюр.

Матеріали та взірці для дослідження властивостей ВЖД. Для проведення експериментів використовувалася ВЖД різного походження чотирьох груп різного віку експлуатації: упаковка (тара, піддони, ящики), деревина від зламу і розбору будівель (елементи стінових конструкцій і каркасів дахів), каркаси меблевих виробів (стільців і столів); елементи столярних виробів (бруски віконних і дверних блоків).

Для проведення досліджень були підготовлені рейки (рис. 1) відповідних перерізів, з яких виготовляли взірці для експериментів.

Рис. 1. Рейки для взірців

Витримували рейки при кімнатній температурі (рис. 2)

Рис. 2. Витримування рейок при кімнатній температурі

Розміри підготовлених зразків для випробувань для визначення:

- міцності при статичному згині - 300 × 20 × 20 мм;
- модуля пружності при статичному згині - 300 × 20 × 20 мм;
- модуля пружності при стисненні - 60 × 30 × 30 мм;

- залишкових напружень - 15 × 100 × 25 мм.

Із кратних рейок виготовляли взірці необхідних розмірів (рис. 3.)

Рис. 3. Взірці для випробування на міцність та модуль пружності при статичному згині

Методика досліджень пружних властивостей ВЖД. Методи досліджень: сортування - для сортування за певними класифікаційними критеріями; очищення - для видалення зовнішніх і поверхонь забруднювачів; обробки - для перетворення очищеної ВИД на про-зразки для випробувань; випробування експериментальних зразків - для визначення властивостей ВИД; математичної статистики - для обробки результатів експериментальних досліджень. Всі випробування проводили в лабораторії при температурі 20±5 °С, при відносній вологості повітря 40-65%. Підготовлені зразки ВЖД випробовували на обладнанні та апаратурі, згідно відомих методик (методів визначення), наданих міждержавними стандартами.

Межу міцності при статичному згині (σ_W) обчислювали згідно ДСТУ (ГОСТ) 16483.3-84. «Деревина. Метод визначення межі міцності при статичному згині» [10] за формулою:

$$\sigma_W = \frac{P_{\max} \cdot l}{2b \cdot h^2}, \text{ Н·мм}^{-2} \quad (1)$$

де P_{max} - максимальне навантаження, Н; l - відстань між центрами опор, мм; h - висота зразка, мм; b - ширина зразка, мм.

Модуль пружності деревини при статичному згині (E_W) обчислювали згідно ДСТУ (ГОСТ) 16483.9-73. Деревина. Методи визначення модуля пружності при статичному згині [11] за формулою:

$$E_W = \frac{3P \cdot l^3}{64b \cdot h^3 \cdot f}, \text{ Н·мм}^{-2} \quad (2)$$

де P - навантаження, що дорівнює різниці між верхнім і нижнім межами навантажування, Н; l - відстань між опорами, мм; b - ширина зразка, мм; h - висота зразка, мм; f - прогин зразка в зоні чистого згину, рівний різниці між середніми арифметичними результатами вимірювання прогину при верхньому і нижньому межах навантаження, мм.

Модуль пружності деревини при стиску (E_W) обчислювали за формулою [12, 13]:

$$E_W = \frac{P \cdot l}{F \cdot \Delta l} = \frac{P}{F \cdot \varepsilon} = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \text{ Н·мм}^{-2} \quad (3)$$

де P - навантаження, що дорівнює різниці між верхнім і нижнім межами навантаження, Н; ε - відносна деформація; σ - напруження, Н·мм$^{-2}$ (МПа); l - початковий розмір зразка (шару), мм; Δl - приріст розміру (різниця між кінцевою і початковою довжиною), мм; F - площа поперечного перерізу, м^2.

Коефіцієнти поперечної деформації визначали згідно ДСТУ (ГОСТ) 16483.29-73 [14]. Для позначення поперечної деформації μ і при різних напрямках стиску відносно річних шарів і волокон при μ ставлять два індекси, з яких перший означає напрямок поперечної деформації, а другий – напрямок стиску, який викликав поперечну деформацію. Напрямок вздовж волокон позначають індексом *a* поперек волокон в радіальному напрямку – індексом *r* і в тангентальному напрямку – індексом *t*.

Для коефіцієнтів поперечної деформації встановлюють наступні позначення:

μ_{ra} ; μ_{ta} – коефіцієнти поперечної деформації в радіальному і тангенціальному напрямках при стисканні вздовж волокон;

μ_{ar} ; μ_{tr} – коефіцієнти поперечної деформації вздовж волокон і в тангентальном напрямку при стисненні в радіальному напрямку;

μ_{at} ; μ_{rt} – коефіцієнти поперечної деформації вздовж волокон і в радіальному напрямку при стисненні в тангентальному напрямку.

Загальна формула для визначення коефіцієнтів поперечної деформації має вигляд

$$\mu = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_a} \text{ або } \mu = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_a} \tag{4}$$

де ε_a - відносна деформація за довжиною; ε_r , ε_t – деформації в поперечних напрямах.

Модуль зсуву визначали згідно ДСТУ (ГОСТ) 16483.30-73 [15].

Для модулів зсуву *G* встановлюють такі позначення:

G_{ra} - модуль зсуву в площині радіального розрізу при стисненні під кутом 45 ° до цієї площини і напрямку волокон;

G_{ta} - модуль зсуву в площині тангентального розрізу при стисненні під кутом 45 ° до цієї площини і напрямку волокон;

G_{rt} - модуль зсуву в радіальній або тангентальній площині при стисненні під кутом 45 ° до цих площинах.

Загальна формула для визначення коефіцієнтів поперечної деформації має вигляд

$$G = \frac{E_{45}}{2(1+\mu_{45})} \tag{5}$$

$$\mu_{45} = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_a} \text{ або } \mu_{45} = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_a} \tag{6}$$

де ε_a - відносна деформація за довжиною; ε_r , ε_t – деформації в поперечних напрямах, μ_{45} – коефіцієнти поперечної деформації в площинах різних напрямів при стиску під кутом 45°, E_{45} – модуль пружності в площинах різних напрямів при стиску під кутом 45°.

Характеристикою напруженого стану деревини [16] служить епюра напружень $\sigma'=f_3(x)$, яка залежить від кривих деформації $\varepsilon'=f_1(x)$ і модуля пружності $E'=f_2(x)$. Напруження (σ ‘) обчислювали за формулою:

$$\sigma'=E\cdot\varepsilon, \text{ Н·мм}^{-2}, \tag{7}$$

де: E – модуль пружності даного шару, Н·мм$^{-2}$; ε – деформація шару (+ або -).

Модуль пружності для кожного шару за товщиною взірця визначали за формулою:

$$E = \frac{11Pl^3}{64bh^3 f}, \tag{8}$$

де: P – приведене навантаження, Н; l – відстань між опорами, м; b – ширина зразка, м; h – висота зразка, м; f – приведений прогин зразка, м.

Деформацію для кожного шару за товщиною взірця визначали за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{a_1} = \frac{\Delta l}{a_o + l_1}, \tag{9}$$

де: Δl – переміщення кожного шару взірця, мм ($\Delta l = l_1 - l_2$); l_1 – показ індикатора під час вимірювання початкової довжини, мм; l_2 – показ індикатора під час вимірювання кінцевої довжини, мм; a_1 – початкова довжина шару, мм; a_o – настановчий розмір приладу, мм.

Всі розрахункові значення перераховували на вологість 12% .

Результати визначення міцності при статичному згині деревини ялиці за напрямами представлено у табл. 1. та на рис. 4. і на рис. 5.

Таблиця 1. Міцність при статичному згині у взірцях

Ялиця	Міцність, МПа при ст. зг.		
Термін експл.	Зразки за кутами нахилу річних кілець (W=8%)		
років	*0-30°*	*31-60°*	*61-90°*
0	84,67	89,26	93,96
5	83,65	86,86	91,15
10	82,76	85,01	88,94
15	82,45	84,01	87,68
20	81,79	83,01	86,49
Змен, %	3,4	7,0	8,0

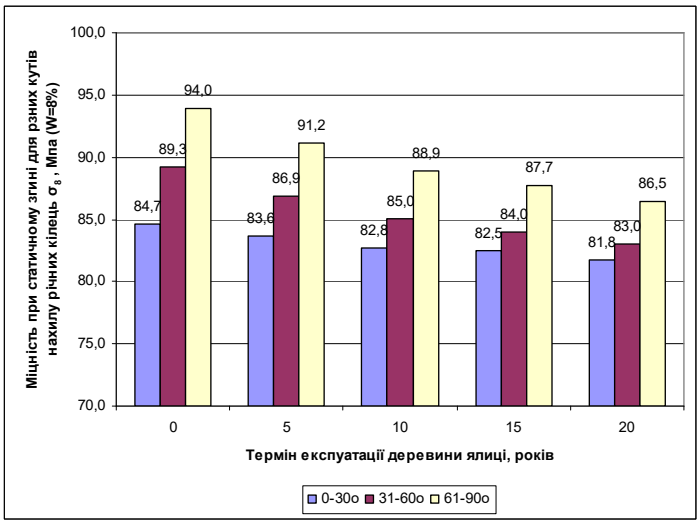

Рис. 4. Показники міцності при статичному згині деревини ялиці за напрямами залежно від віку ВЖД

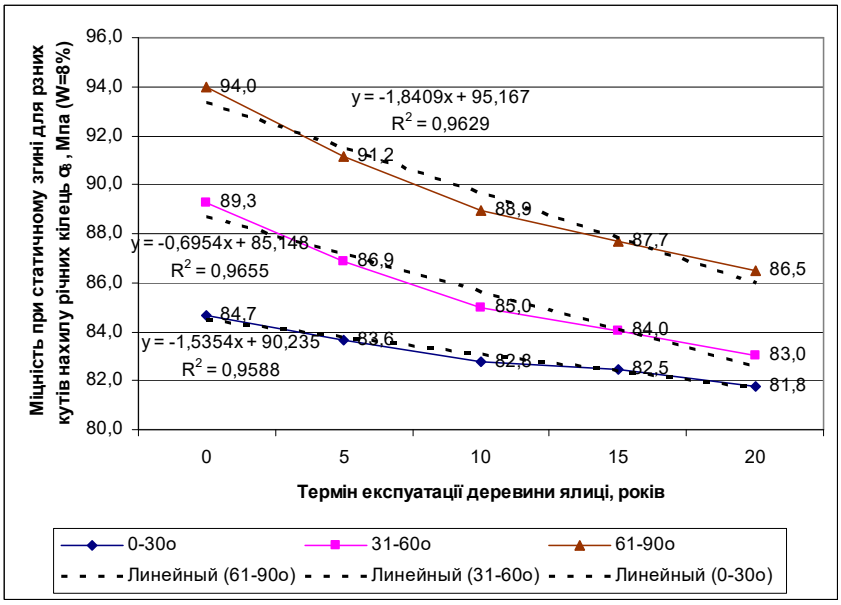

Рис. 5. Залежності міцності при статичному згині деревини за напрямами від віку ВЖД ялиці

Результати визначення модуля пружності при стиску деревини ялиці за напрямами представлено у табл. 2. та на рис. 6. і на рис. 7.

Таблиця 2. Модуля пружності при стиску у взірцях

Ялиця	Міцність, МПа при стиску		
Термін експл.	за довжин.	в радіал. напрямі	в танг. напрямі
років	$E_{8\alpha}$	E_{8r}	E_{8t}
0	11392	739	466
5	11222	720	460
10	11111	704	455
15	11002	693	450
20	10949	685	447
Змен, %	3,89	7,31	4,08

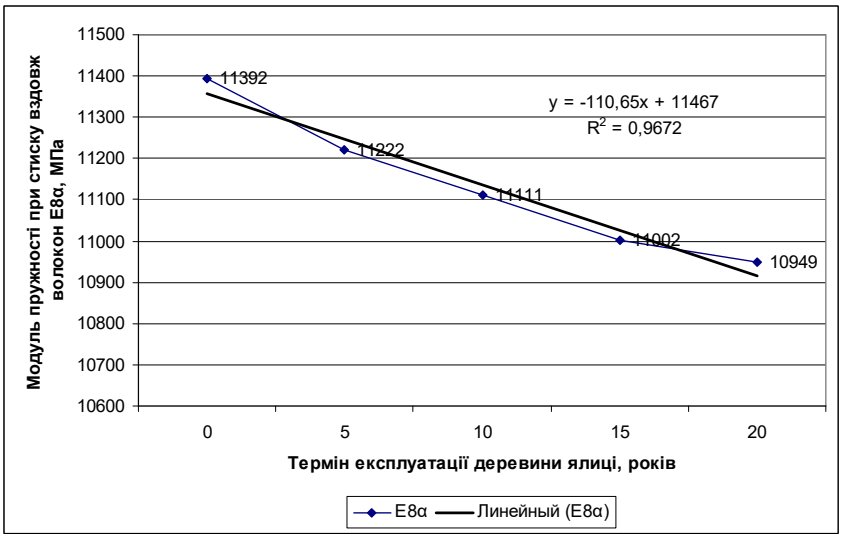

Рис. 6. Показники модуля пружності при стиску деревини ялиці за напрямами залежно від віку ВЖД

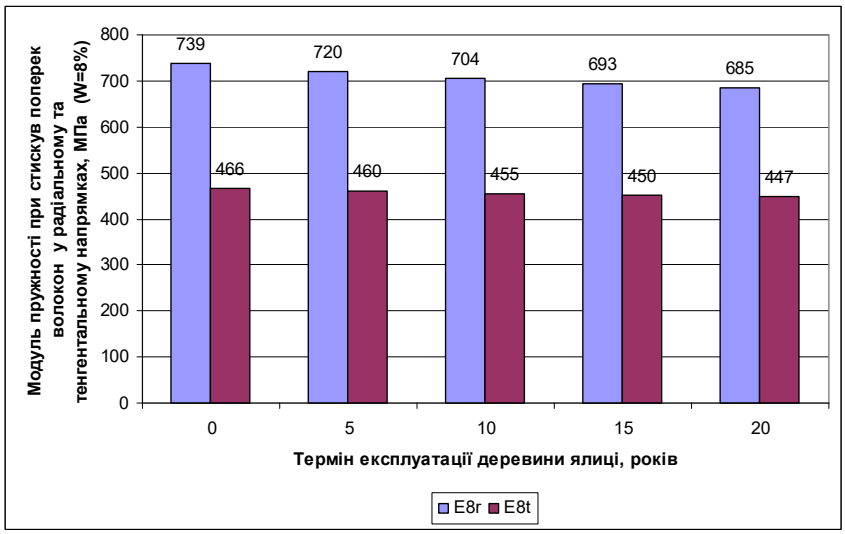

Рис. 7. Залежності модуля пружності при стиску деревини за напрямами від віку ВЖД ялиці

Результати визначення модуля пружності при статичному згині деревини ялиці за напрямами представлено у табл. 3. та на рис. 8. і на рис. 9.

Таблиця 3. Модуля пружності при статичному згині у взірцях

Ялиця	Міцність, МПа при стиску		
Термін експл.	Зразки за кутами нахилу річних кілець (W=8%)		
років	*0-30°*	*31-60°*	*61-90°*
0	10602,09	11065,57	11440,68
5	10331,63	10887,10	11319,17
10	10125,00	10771,28	11231,28
15	9975,37	10657,89	11169,33
20	9898,35	10602,09	11126,37
Змен, %	6,64	4,19	2,75

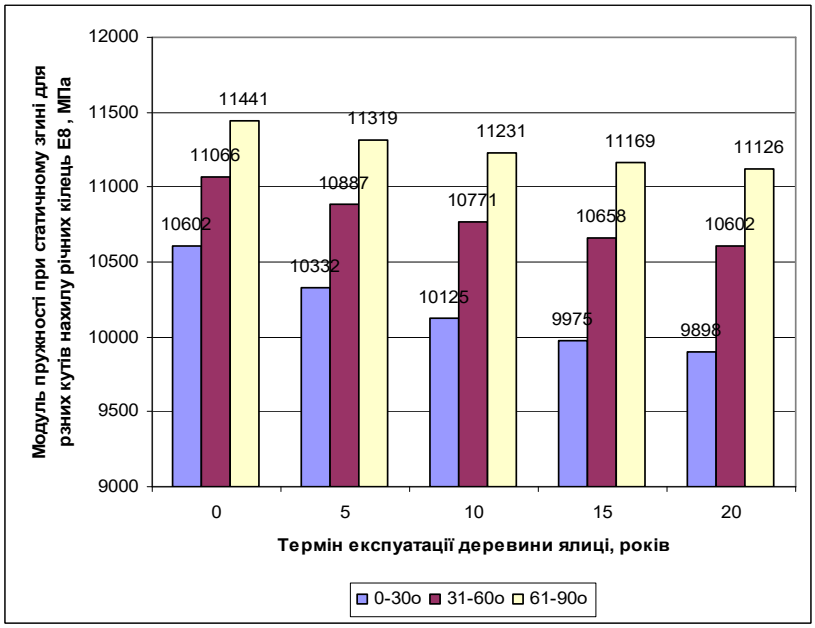

Рис. 8. Показники модуля пружності при статичному згині деревини ялиці за напрямами залежно від віку ВЖД

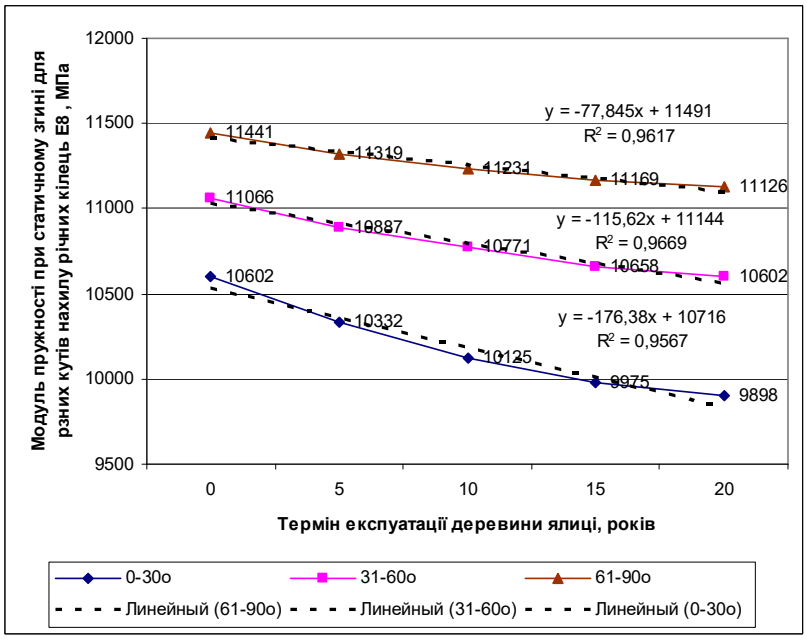

Рис. 9. Залежності модуля пружності при статичному згині деревини за напрямами від віку ВЖД ялиці

Результати визначення модулів зсуву деревини ялиці за напрямами представлено у табл. 4. та на рис. 10. і на рис. 11.

Таблиця 4. Модулів зсуву у взірцях

Ялиця	**Модуль зсуву експ., МПА**		
Термін експл.	в радіал. напрямі	в танг. напрямі	в танг. Радіал
років	$G_{8r\alpha}$	G_{8ta}	G_{8rt}
0	1646	1000	588
5	1625	992	565
10	1596	968	543
15	1568	935	531
20	1532	911	504
Змен, %	6,89	8,87	14,33

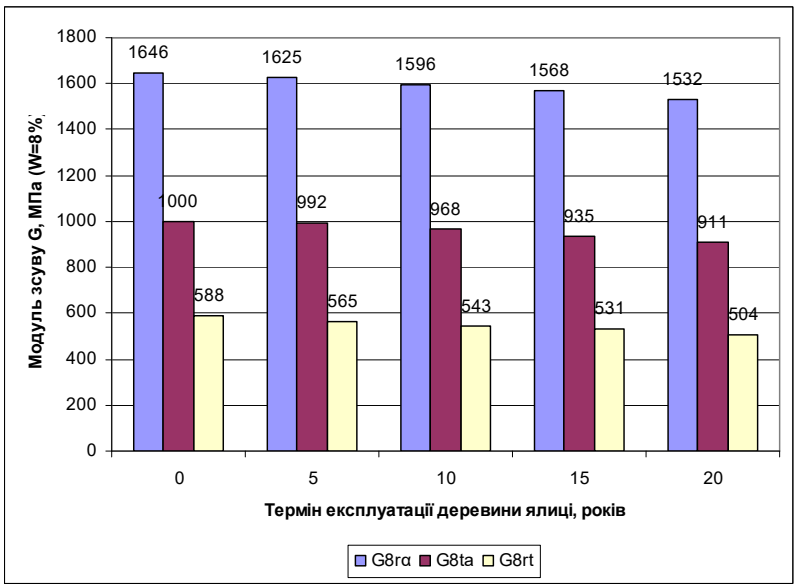

Рис. 10. Показники модулів зсуву деревини ялиці за напрямами залежно від віку ВЖД

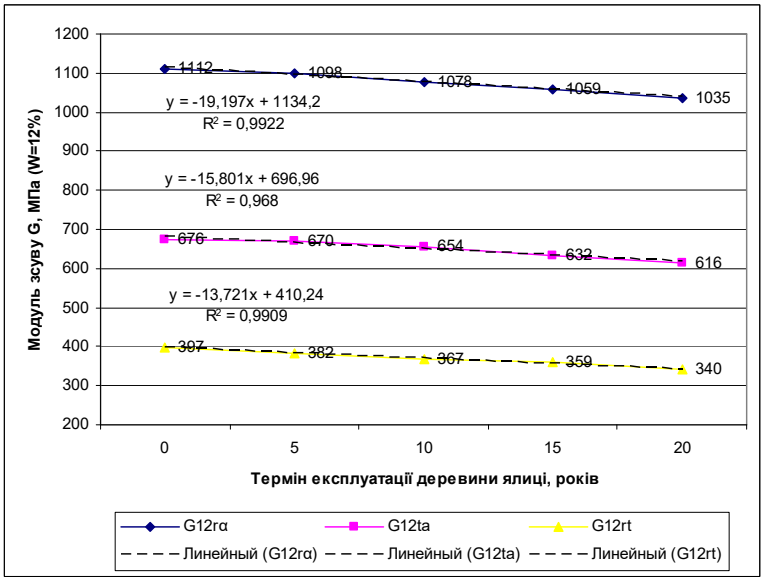

Рис. 11. Залежності модулів зсуву деревини за напрямами від віку ВЖД ялиці

Результати визначення величини коефіцієнтів поперечної деформації деревини ялиці за напрямами представлено у табл. 5 та на рис. 12 і на рис. 13.

Таблиця 5. Величини коефіцієнтів поперечної деформації

Ялиця	Коефіцієнти поперечної деформації					
Термін експл.	вздовж волокон		в радіал. напрямі		в танг. напрямі	
років	$\mu_{r\alpha}$	$\mu_{t\alpha}$	$\mu_{\alpha r}$	μ_{tr}	$\mu_{\alpha t}$	μ_{rt}
0	0,4417	0,4356	0,0253	0,4691	0,0210	0,2818
5	0,4359	0,4284	0,0258	0,4517	0,0195	0,2772
10	0,4322	0,4226	0,0263	0,4406	0,0183	0,2742
15	0,4292	0,4177	0,0267	0,4305	0,0174	0,2724
20	0,4273	0,4133	0,0270	0,4256	0,0168	0,2714
Змен, %	3,27	5,12	-6,35	9,27	20,05	3,71

Для позначення поперечної деформації μ (ГОСТ 16483.29-73) і при різних напрямках стиску відносно річних шарів і волокон при μ ставлять два індекси, з яких перший означає напрямок поперечної деформації, а другий – напрямок стиску, який викликав поперечну деформацію. Напрямок вздовж волокон позначають індексом *a* поперек волокон в радіальному напрямку – індексом *r* і в тангентальному напрямку – індексом *t*.

Для коефіцієнтів поперечної деформації встановлюють наступні позначення:

μ_{ra} ; μ_{ta} – коефіцієнти поперечної деформації в радіальному і тангенціальному напрямках при стисканні вздовж волокон;

μ_{ar} ; μ_{tr} – коефіцієнти поперечної деформації вздовж волокон і в тангентальном напрямку при стисненні в радіальному напрямку;

μ_{at} ; μ_{rt} – коефіцієнти поперечної деформації вздовж волокон і в радіальному напрямку при стисненні в тангентальному напрямку.

Для ортотропних матеріалів, зокрема для рейок ВЖД для СП, виходячи із припущення про існування пружного потенціалу, мають виконуватись наступні умови (табл. 6):

$$\frac{\mu_{ra}}{E_a} = \frac{\mu_{ar}}{E_r}; \qquad \frac{\mu_{ta}}{E_a} = \frac{\mu_{at}}{E_t}; \qquad \frac{\mu_{rt}}{E_t} = \frac{\mu_{tr}}{E_r}. \tag{4}$$

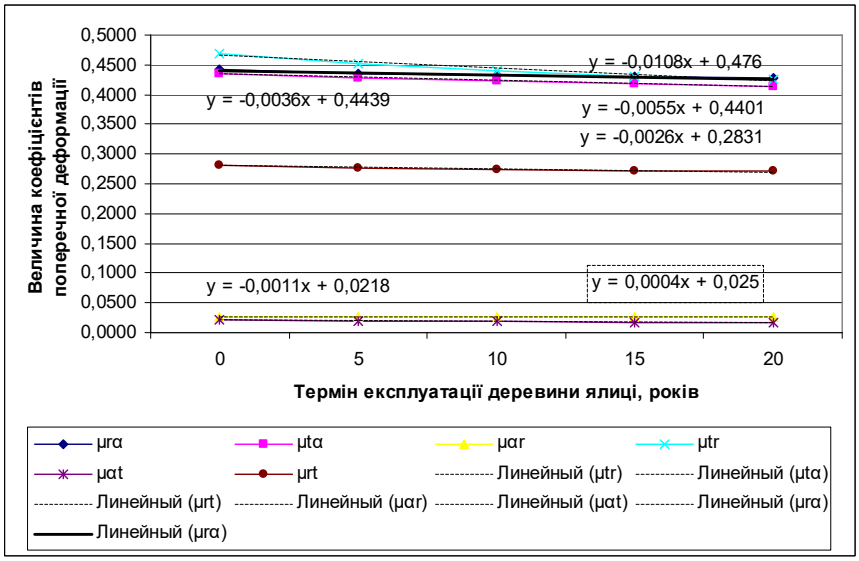

Рис. 12. Залежності величини коефіцієнтів поперечної деформації деревини ялиці за напрямами від віку ВЖД

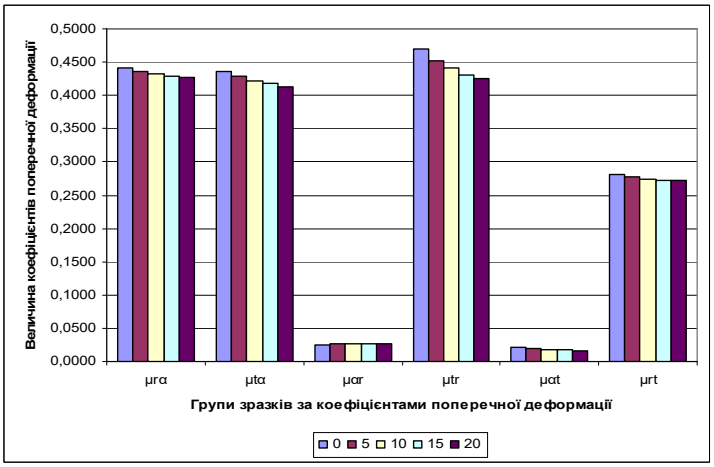

Рис. 13. Показники величини коефіцієнтів поперечної деформації деревини ялиці за напрямами залежно від віку ВЖД

Таблиця 6. Перевірка умов симетрії для ортотропних матеріалів, які володіють пружним потенціалом (окремий випадок просторової ортогональні анізотропії деревини)

Вік ВЖД	$\mu_{r\alpha}/\mu_{\alpha r}$	≈	E_α/E_r	%	$\mu_{t\alpha}/\mu_{\alpha t}$	≈	E_α/E_t	%	μ_{tr}/μ_{rt}	≈	E_r/E_t	%
0	17,43	≈	15,42	11,53	20,70	≈	24,43	-18,02	1,665	≈	1,585	4,81
5	16,88	≈	15,59	7,69	22,00	≈	24,41	-10,97	1,629	≈	1,566	3,87
10	16,44	≈	15,78	4,03	23,09	≈	24,44	-5,86	1,607	≈	1,549	3,58
15	16,09	≈	15,87	1,36	24,00	≈	24,43	-1,77	1,581	≈	1,539	2,62
20	15,85	≈	15,99	-0,85	24,57	≈	24,48	0,36	1,568	≈	1,531	2,37

Як бачимо з віком – часом експлуатації для ВЖД умови симетрії виконуються все більше

Якщо ж виконуються ще чотири наступні умови (табл. 7):

$$-\frac{\mu_{ra}}{E_a} = -\frac{\mu_{ar}}{E_r} = -\frac{\mu_{ta}}{E_a} = -\frac{\mu_{at}}{E_t}; \qquad \frac{1}{E_t} = \frac{1}{E_r}; \qquad \frac{1}{G_{ta}} = \frac{1}{G_{ar}}; \qquad G_{rt} = \frac{E_r}{2(1+\mu_{rt})}.$$

то такі матеріали мають властивості ортогональних трансверсально-ізотропних (з великим поперечним перерізом, об'ємом деревини або довжиною у порівнянні з поперечними розмірами), як окремий варіант ортотропних.

Табл. 7. Перевірка умов симетрії для трансверсально-ізотропних матеріалів, які володіють пружним потенціалом (окремий випадок ортотропних матеріалів)

Вік ВЖД	$\mu_{r\alpha}*\mu_{tr}*\mu_{\alpha t}$	≈	$\mu_{t\alpha}*\mu_{ar}*\mu_{rt}$	%
0	0,00436	≈	0,00311	28,64
5	0,00383	≈	0,00307	20,03
10	0,00349	≈	0,00305	12,59
15	0,00322	≈	0,00304	5,60
20	0,00306	≈	0,00302	1,18

Дослідження залишкових деформацій пов'язане з побудовою графіків пошарових модулів пружності, пошарової відносної деформації та власне залишкових деформацій. Представлено три групи графіків для ВЖД вікових категорій: 10 років (рис. 14).

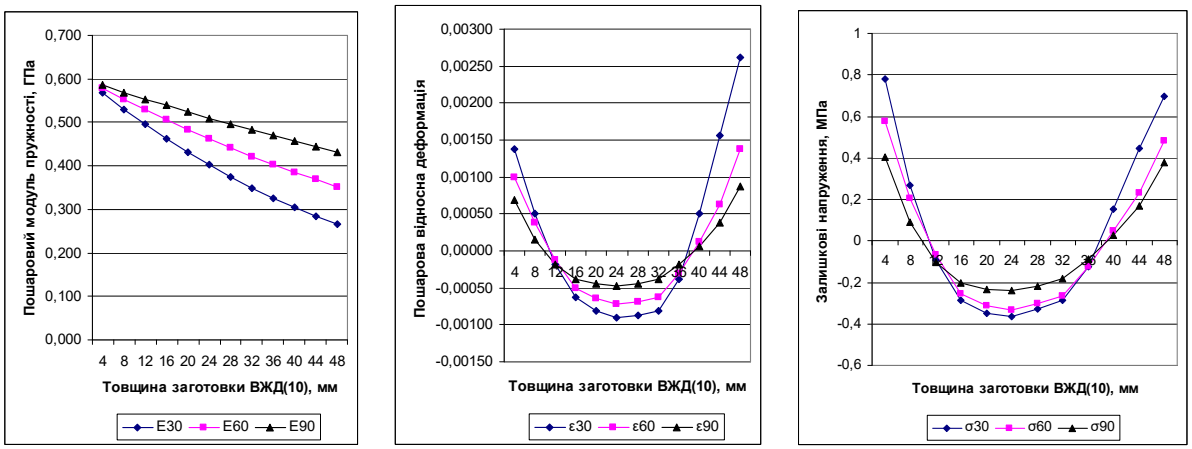

Рис. 14. Розподіл залишкових деформацій за товщиною заготовки ВЖД(10)

Зміна залишкових деформацій з роками ВЖД деревини ялиці за напрямами представлена рис. 15.

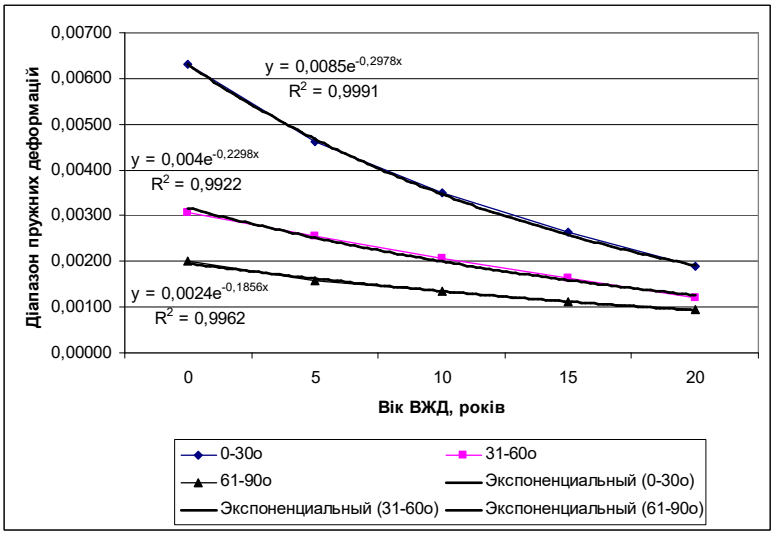

Рис. 15. Зміна залишкових деформацій з роками ВЖД деревини ялиці за напрямами

Зміна залишкових напружень з роками ВЖД деревини ялиці за напрямами представлена рис. 16.

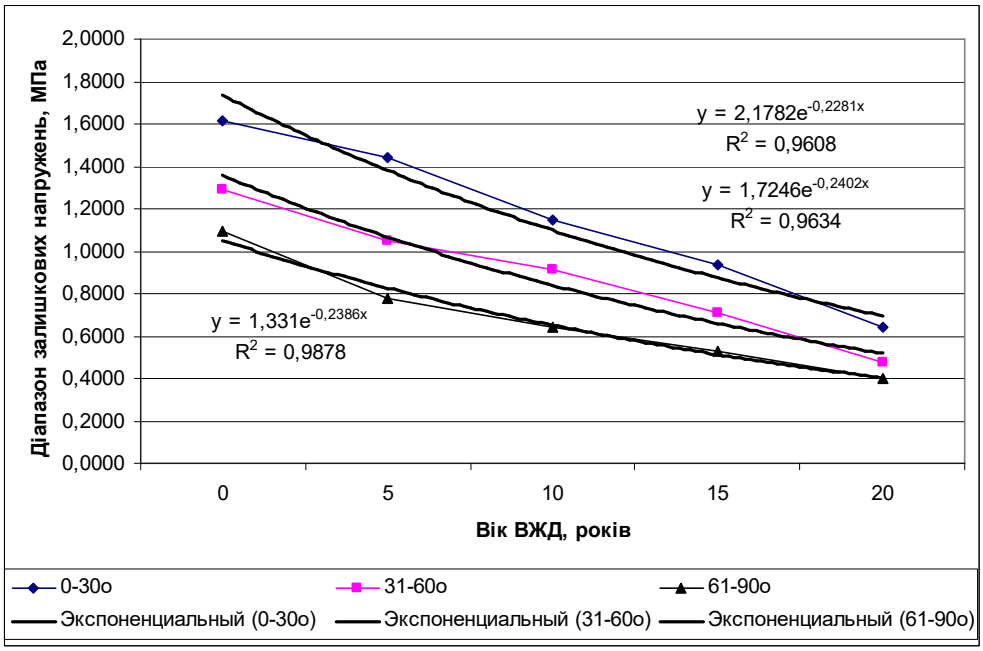

Рис. 16. Зміна залишкових напружень з роками ВЖД деревини ялиці за напрямами

Висновки

1. Досліджено властивості ВЖД ялиці різного віку (за терміном експлуатації), оскільки відсутні нормативні документи, що визначають фізико-механічні властивості вживаної деревини різного віку, які потрібні для прогнозування характеристик виробів з деревини, зокрема СП із ВЖД.

2. Досліджено характеристики ВЖД поширеної породи ялиці ві діапазоні користування від 0 до 20 років, з проміжним контролюванням властивостей через кожні 5 років.

3. Визначено пружні властивості ВЖД за такими показниками: міцність при статичному згині, модуль пружності при стиску, модуль пружності при статичному згині, модуль зсуву, коефіцієнти поперечної деформації, знайдено відносні деформації, визначено графічно залишкові деформації.

4. Встановлено, що з часом експлуатації в різних умовах, зокрема на відкритому повітрі, пружні властивості змінились, в основному, у бік зменшення.

5. Проаналізовано, що коефіцієнти поперечної деформації також змінюються і, виходячи із припущення про існування пружного потенціалу, мають виконуватись такі умови при яких ВЖД може характеризуватися як ортогональний трансверсально-ізотропний матеріал (особливо в клеєних конструкціях), як окремий випадок ортотропного.

6. Розроблено зведену таблицю, як нормативний документ – доповнено базу даних з вибору показників механічних властивостей ВЖД різного віку деревини ялиці.

Література

1. **Ashkenazi Ye.K.** (1980): *Anyzotropyya drevesyny y drevesnykh materyalov* [Anisotropy of wood and wood materials]. – *Moskow:* Lesnaya promyshlennost'. – 224 p., (in Russian).

2. **Vintoniv I.S., Sopushynskyy I.M., Teishinger A.** (2007) *Derevynoznavstvo* [Wood-science]. – Lviv: Apriori. – 312 p., (in Ukrainian).

3. **Volynskyy V.N.** (2000) *Vzaymosvyaz' y yzmenchyvost' fyzyko-mekhanycheskykh svoystv drevesyny* [Interconnection and variability of physical and mechanical properties of wood]. – Arkhangelsk: Publishing house AGTU. – 135 p., (in Russian).

4. **Borovikov A.M.** (1989) *Spravochnyk po drevesyne* [Wood Directory] . – *Moskow:* Lesnaya promyshlennost'. – 246 p., (in Russian).

5. **Gayda S.V.** (2015): *Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv vtorichno ispol'zuemoy drevesiny* [Investigation of physical and mechanical properties of post-consumer wood]. *Actual problems of forest complex* 43:175-179, (in Russian).

6. **Gayda S.V.** (2015): *Tekhnologiï i fiziko-mekhanichni vlastivosti stolyarnikh plit iz vzhivanoï derevini* [Technology and physical and mechanical properties blockboard made of post-consumer wood]. *Technical service of agriculture, forestry and transport systems* 3(1):145-152, (in Ukrainian).

7. **Gayda S.V.** (2011): *Vzhyvana derevyna – dodatkovyy resurs syrovyny* [Recovered wood is additional resource of raw material]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 37(1): 238-244 (in Ukrainian).

8. **Gayda S.V.** (2013): *Tekhnologiï ta rekomendatsiï do vikoristannya vzhivanoï derevini v derevoobroblenni* [Technologies and recommendations on the utilization of post-consumer wood in woodworking industry]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 39(1):48-67, (in Ukrainian).

9. **Gayda S.V.** (2013): *Resursooshchadni tekhnologiï pereroblennya vzhivanoï derevini* [Resource-saving technologies of recycling of post-consumer wood]. Scientific Bulletin of NULES of Ukraine: *Technology and Energy of agroindustrial complex* 185(2):271-280, (in Ukrainian).

10. **GOST 16483.3-84.** *Drevesina. Metod opredeleniya predela prochnosti pri staticheskom izgibe* [Wood. Method for determining the strength of static bending]. – *Moskow: Publishing house of standards*, 1984. – 7 p., (in Russian).

11. **GOST 16483.9-73.** *Derevyna. Metody vyznachennya modulya pruzhnosti pry statychnomu z·hyn* [Wood. Method for determination of modulus of elasticity in static bending]. – *Moskow: Publishing house of standards*, 1973. – 7 p., (in Russian).

12. **GOST 16483.24-73.** *Derevyna. Metod vyznachennya modulya pruzhnosti pry stysku vzdovzh volokon* [Wood. Method for determining the modulus of elasticity during compression along fibers]. – *Moskow: Publishing house of standards*, 1974. – 4 p., (in Russian).

13. **GOST 16483.25-73.** *Derevyna. Metod vyznachennya modulya pruzhnosti pry stysku poperek volokon* [Wood. Method for determining the elastic modulus in compression across the fibers]. – *Moskow: Publishing house of standards*, 1974. – 5 p., (in Russian).

14. **GOST 16483.29-73.** *Derevyna. Metod vyznachennya koefitsiyentiv poperechnoyi deformatsiyi* [Wood. Method of determining the coefficients of transverse deformation]. – *Moskow: Publishing house of standards*, 1974. – 7 p., (in Russian).

15. **GOST 16483.30-73.** *Derevyna. Metod vyznachennya moduliv zsuvu* [Wood. Method of determination of displacement modules]. – *Moskow: Publishing house of standards*, 1974. – 4 p., (in Russian).

16. **GOST 11603-73.** *Derevyna. Metod vyznachennya zalyshkovykh napruzhen* [Wood. Method for determination of residual stresses]. *Moskow: Publishing house of standards*, 1973. – 11 p., (in Russian).

17. **Maksymchuk R.T.** (2017): *Anizotropiya rozbukhannya pryamovoloknystoyi ta khvylyasto-zavyl'kuvatoyi derevyny Abies Alba Mill* [Swelling Anisotropy of strainght-grained and wavy-grained wood of Abies Alba Mill]. Scientific Bulletin of UNFU, 27(10): 106-110, (in Ukrainian).

18. **Maksymchuk R.T., Sopushynskyy I.M., Timochko I.Ya.** (2017): *Osoblyvosti formuvannya richnoho kil'tsya ta bazysnoyi shchil'nosti pryamovoloknystoyi ta khvylyasto-zavyl'kuvatoyi derevyny Abies Alba Mill* [Some Features of formation of annual ring and strainght-grained and wavy-grained basic density wood Abies Alba Mill]. Scientific Bulletin of UNFU, 27(9): 30-33, (in Ukrainian).

28. **Sopushinsky I.M., Vintonov I.S.** (2014): *Derevynoznavstvo* [Wood exploration]. – Lviv: Liga-Press. – 144 p., (in Ukrainian).

UDC 674 *Assoc. prof. S.V. Gayda – UNFU*

The complex studies on the change of elastic properties of post-consumer fir wood with age

The elastic properties of post-consumer wood (PCW) firings of different ages (in terms of service life) have been investigated, because there are no normative documents defining the physical and mechanical properties of used wood of different ages, which are necessary for forecasting the characteristics of the resulting products. The characteristics of PCW of common breed of fir in the range of use from 0 to 20 years, with intermediate control of properties every 5 years are investigated. The elastic (mechanical) properties of PCW are determined according to the following parameters: strength at static bending, elastic modulus under compression, elastic modulus at static bending, shear modulus, coefficients of transverse deformation, relative deformations are found, graphically residual deformations are determined. It has been established that with the time of operation in different conditions, in particular in the open air, mechanical properties have changed, mainly towards a decrease. It is analyzed that coefficients of transversal deformation also change and, based on the assumption of the existence of an elastic potential, the following conditions must be fulfilled in which PCW can be characterized as an orthogonal transversally isotropic material (especially in glued constructions), as a special case of orthotropic. The database was supplemented by indicators – mechanical properties of PCW of different age of fir wood.

Keywords: post-consumer wood, mechanical properties, elastic characteristics, strength, elastic modulus, shear modulus, deformation, fir.