

ПОПЕРЕЧНЕ ЖОЛОБЛЕННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗМІНИ ЇХНЬОЇ ВОЛОГОСТІ ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Клеєні щитові конструкції є поширеними серед конструкційних елементів для виробництва різноманітних виробів з деревини. Більшість досліджень клеєних конструкцій обмежується аналізом їхніх фізико-механічних характеристик. У випадку використання клеєних щитових конструкцій для фасадних поверхонь столярно-меблевих виробів важливого значення набувають також показники їх естетичності. Якість клеєних щитових конструкцій обумовлена властивостями її окремих ділянок, тому для раціонального вибору схеми формування клеєної щитової конструкції та прогнозування її якості важливо враховувати властивості цих ділянок. Охарактеризовано основні причини можливої зміни форми поверхонь клеєних щитових конструкцій. Всихання і розбухання призводять до зміни розмірів і форми як деталей і виробів з деревини, так і пиломатеріалів, які використовують для їхнього виготовлення. Жолоблення пиломатеріалів є яскраво вираженим дефектом. Основними причинами жолоблення пиломатеріалів є анізотропія властивостей деревини та нерівномірність її структури, а також неоднакова зміна вологості в різних структурних напрямках. Пиломатеріали залежно від їхнього розташування в колоді мають неоднакову опірність поперечному жолобленню. У розрахунках вологісних деформацій використовують відносну деформацію всихання. Якщо всихання пластей пиломатеріалу є неоднаковим, то такі пиломатеріали матимуть поперечне жолоблення. Кількісними характеристиками всихання деревини є відповідні коефіцієнти всихання, що характеризують зміну геометричних розмірів. Для раціонального вибору схеми формування клеєних щитових конструкцій та прогнозування їхньої якості ще до склеювання, розроблено математичну модель для теоретичного дослідження поперечного жолоблення пиломатеріалів. Одержані математичні залежності для розрахунку коефіцієнтів всихання деревини свідчать, що поперечне жолоблення пиломатеріалу в основному залежить від його розмірів, вологості і розташування в колоді.

Для визначення величини коефіцієнтів всихання пластей пиломатеріалів доцільно використовувати коефіцієнти всихання деревини у радіальному та тангенціальному напрямках.

Ключові слова: пиломатеріал, клеєні щитові конструкції, поперечне жолоблення, коефіцієнт всихання, вологість деревини, поперечний перетин колоди.

Актуальність досліджень. Клеєні щитові конструкції (КЩК) є поширеними серед конструкційних елементів для виробництва різноманітних виробів з деревини [1-12]. Більшість дос-

¹ Удовицька Мар'яна Володимирівна, викладач. Email: udovi@ukr.net

² Тисовський Любомир Осипович, канд. фіз.-мат. наук, доцент, кафедра прикладної механіки. Email: tlo10@ukr.net

³ Маєвський Володимир Олександрович – доктор технічних наук, професор, директор навчально-наукового інституту деревообробних та комп'ютерних технологій і дизайну, професор кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів. НЛТУ України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057. Тел.: 032-238-44-96, +38-067-670-38-87. E-mail: volodymyr_mayevskyy@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5820-9454>

⁴ Удовицький Олександр Миколайович, канд. техн. наук, доцент, кафедра прикладної механіки. Email: udovi@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-2234-806X>

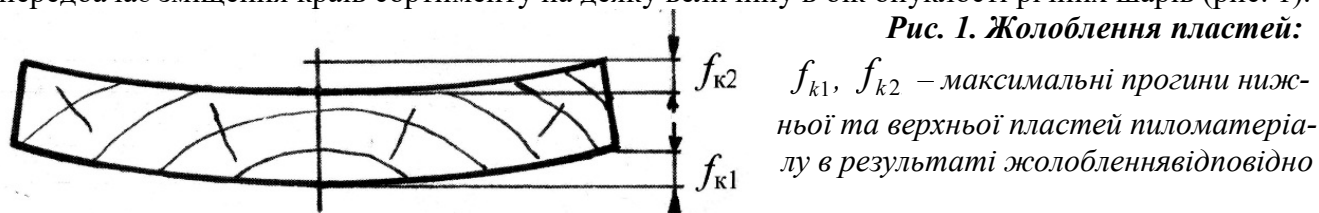
⁵ Мисик Михайло Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. Email: mmysyk@i.ua

⁶ Маєвська Оксана Михайлівна, кандидат біологічних наук, Інститут біології клітини НАН України. Тел.: +38-032-238-44-99. Email: oksana.mayevska@nltu.edu.ua

ліджень клеєних конструкцій обмежується аналізом їхніх фізико-механічних характеристик, зокрема міцності та формостійкості [13-31]. Незважаючи на те, що ці характеристики переважно є визначальними для встановлення їхньої якості, у випадку використання КЩК для фасадних поверхонь, важливого значення набувають також показники їхньої естетичності [11, 33, 34]. Якість КЩК здебільшого обумовлена властивостями її окремих ділянок (заготовок, ламелей) [12]. Тому для раціонального вибору схеми формування КЩК та прогнозування її якості важливо враховувати властивості цих ділянок. Такий підхід до виготовлення КЩК є актуальним, проте малодослідженим. Для раціонального вибору схеми формування КЩК та прогнозування її якості ще до склеювання, варто зосередити увагу на розробленні математичного апарату для теоретичного дослідження поперечного жолоблення пиломатеріалів з урахуванням всихання або розбухання деревини різних порід залежно від зміни її вологості. Вирішення цього завдання передбачає використання відповідних теоретичних передумов, зокрема законів механіки деформованого твердого тіла.

Постановка проблеми. Поряд з позитивними властивостями деревина має і низку недоліків. У процесі експлуатації, в результаті впливу навколишнього температурно-вологісного середовища, деревина піддається всиханню, розбухання, викривленню і розтріскуванню [23, 40-42]. Всихання і розбухання призводять до зміни розмірів і форми деталей і виробів з деревини, а розтріскування – до руйнування деталі чи виробу загалом. Першопричиною таких дефектів є внутрішні напруження, що з'являються в деревині. Це відбувається при зміні вмісту гігроскопічної води в процесі всихання чи розбухання, при зволоженні, просоченні, при нагріванні і охолодженні, при деформації тканин в процесі механічної обробки [16], а також у процесі росту дерева [39]. Жолоблення (викривлення) пиломатеріалів є найбільш яскраво вираженим дефектом. Основними причинами жолоблення пиломатеріалів є анізотропія властивостей деревини та нерівномірність її структури, а також неоднакова зміна вологості в різних структурних напрямках. Зміна вологості і жолоблення є органічно притаманними особливостями і характерними недоліками деревини як матеріалу. Жолоблення може бути структурним, тобто таким, що виникає від анізотропії всихання, і вологісним – викликаним нерівномірним розподілом вологості по перерізу пиломатеріалів.

Для сортиментів прямокутного перетину (заготовка, дошка, брусок, брус) жолоблення передбачає зміщення країв сортименту на деяку величину в бік опуклості річних шарів (рис. 1).



У розрахунках вологісних деформацій зручно користуватися відносною деформацією всихання (розбухання), що характеризує всихання (розбухання), яке з'явилося при зміні вмісту зв'язаної води в деревині на один відсоток. У деревинознавстві цю відносну деформацію подають як коефіцієнт всихання. Радіальне, тангенціальне і об'ємне всихання характеризують відповідними коефіцієнтами всихання для кожної деревної породи [31-38]. Визначення коефіцієнтів всихання для розрахунку вологісних деформацій необхідно проводити з урахуванням розмірних характеристик пиломатеріалу. Урахування анізотропії деформативності деревини поперек волокон дає змогу встановити розмірні параметри пиломатеріалів та їхнє розташування у колоді, у яких за інших рівних умов напруження всихання (розбухання) будуть мінімальними. Таким чином, якість пиломатеріалів, що характеризується збереженням їхньої форми, можна планувати вже на стадії складання схеми розпилювання колод на пиломатеріали. З іншого боку, за деформативністю окремих складових КЩК можна прогнозувати якість КЩК, що характеризується збереженням їхньої форми ще до склеювання, зокрема й з урахуванням текстурних особливостей майбутньої КЩК [14, 20]. Розташування пиломатеріалу у колоді істотно впливає на поперечне жолоблення його пластей та різнотовщинність, і, як наслідок, на величину припуску на механічну обробку, зумовлену жолобленням. Пиломатеріали залежно від їхнього розташування у колоді мають неоднакову опірність поперечному жолобленню [19]. По суті, опірність поперечному жолобленню можна вважати зовнішнім проявом дії внутрішніх напружень, що виникають в пиломатеріалі за зміни вмісту води.

Основний матеріал дослідження. Кількісними характеристиками всихання деревини (у радіальному, тангенціальному та аксіальному напрямках) є відповідні коефіцієнти всихання, які регламентовані нормативними документами і характеризують зміну геометричних розмірів. Коефіцієнт всихання для різних напрямків можна визначити за формулою [38]:

$$K = \frac{Bc}{W_0 - W_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де: Bc – всихання у відповідному напрямку, %; W_0 – початкова вологість, %; W_1 – кінцева вологість, %.

Оскільки предметом нашого дослідження є зміна форми поперечного перетину пиломатеріалу, то розглядатимемо два коефіцієнти всихання: у радіальному – K_r та тангенціальному напрямках – K_t . Всихання у поздовжньому (аксіальному) напрямку незначне, тому ним нехтуємо. Коефіцієнти всихання пов'язані з лінійним всиханням у відповідному напрямку Δ співвідношеннями [15]:

$$K_r = \frac{\Delta r}{r} \cdot 100\%; \quad K_t = \frac{\Delta \tau}{\tau} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де: $\Delta r = r_0 - r_1$; $\Delta \tau = \tau_0 - \tau_1$ – лінійне всихання пиломатеріалу в радіальному і тангенціальному напрямках відповідно; r_0, τ_0 – лінійні розміри пиломатеріалу в радіальному і тангенціальному напрямках відповідно до всихання, мм; r_1, τ_1 – лінійні розміри пиломатеріалу в радіальному і тангенціальному напрямках відповідно після всихання, мм.

Зазвичай напрямки ширини і товщини пиломатеріалу не збігаються ні з радіальним, ні з тангенціальним напрямком в поперечному перетині колоди, тому цей факт враховано під час розроблення математичної моделі. Найбільше всихання, як вважається, має місце в тангенціальному напрямку. Воно приблизно у 2 рази перевищує всихання у радіальному напрямку. Всихання у поздовжньому напрямку на порядок нижче і ним на практиці, зазвичай, нехтують [16, 19]. Для дослідження анізотропії всихання в напрямку поперек волокон в деревинознавстві рекомендована відома формула для визначення коефіцієнта всихання пластів [16], що не враховує появу кутових деформацій:

$$K_x = K_r \cos^2 \theta + K_t \sin^2 \theta, \quad (3)$$

де θ – кут, що утворює радіус-вектор точки з координатами x, y в перетині пиломатеріалу, з віссю X .

Питання про те, як співвідноситься між собою всихання пластів пиломатеріалу, має значний практичний інтерес [16]. Якщо всихання пластів пиломатеріалів неоднакове, то такі пиломатеріали матимуть поперечне жолоблення. Напрямок найбільшого всихання в деревині як анізотропному матеріалі не завжди збігається з напрямком головних осей анізотропії. Враховуючи, що при лінійному деформуванні деревини поперек волокон з'являється кутова деформація, і, навпаки, при зсуві, крім куткової деформації, з'являється лінійна [18], нескладно отримати:

$$K_x = K_t \sin^2 \theta + K_r \cos^2 \theta - \frac{K_r - K_t}{2} \sin 2\theta \quad (4)$$

Формула (4) точно узгоджується з формулою для розрахунку деформації в плоскій задачі теорії деформованого стану тіла і характеризує деформацію в кожній точці, включаючи і деформацію всихання або температурну деформацію [16].

У Декартовій системі координат функція K_x набуде вигляду

$$K_x = \left[K_r \cdot x^2 + (K_t - K_r)xy + K_t \cdot y^2 \right] / (x^2 + y^2). \quad (5)$$

Коефіцієнти всихання внутрішньої (K_{x1}) і зовнішньої (K_{x2}) пластів пиломатеріалу в першому наближенні можна прийняти постійними, а в точнішій постановці обчислити як середні значення функції коефіцієнта всихання, тобто:

$$K_{xi} = f(K_{xi}(cp)). \quad (6)$$

Для дослідження закономірностей зміни коефіцієнтів всихання пластів пиломатеріалів, що характеризують поперечне жолоблення цих пиломатеріалів, проведено відповідні імітаційні дослідження з використанням отриманих математичних залежностей (3-6). Для прикладу, наведемо результати розрахунку коефіцієнтів всихання пластів соснового пиломатеріалу залежно від його розташування у поперечному перетині колоди, що характеризують поперечне жолоблення пиломатеріалу, набутого у змінних температурно-вологісних полях зі зміною (зменшенням) вологості на 2%. У розрахунках прийнято: діаметр колоди, з якої випиляно пиломатеріал – 600 мм; розмір поперечного перетину пиломатеріалу – 20x100мм, пиломатеріал випиляно не симетрично відносно вертикальної осі Y (рис. 2), коефіцієнти всихання (розбухання) – $K_r = 4,15$, $K_t = 7,47$.

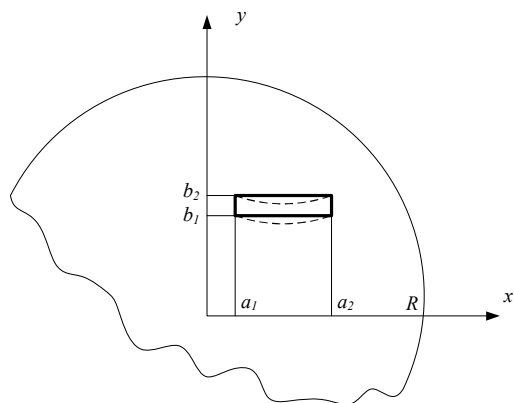
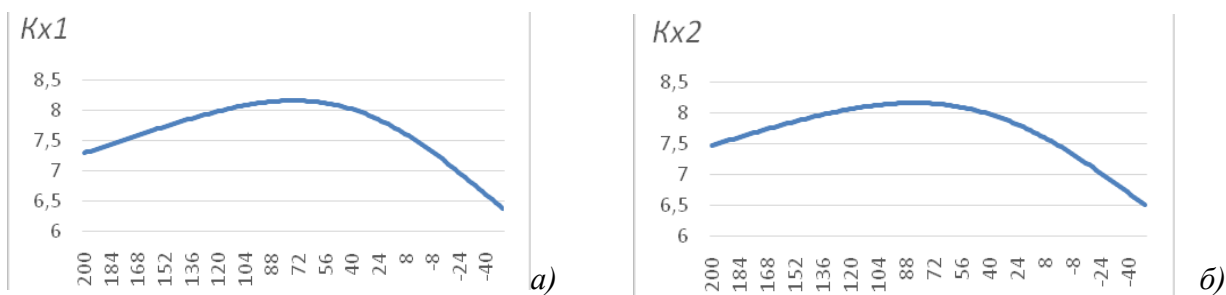


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення лінійного всихання: положення пиломатеріалу на поперечному перетині колоди

Наведемо результати розрахунку коефіцієнтів всихання верхньої (зовнішньої) та нижньої (внутрішньої) пластів пиломатеріалу (рис. 3, 4) (на прикладі одного із поперечних перетинів).



в) Рис 3. Графіки зміни коефіцієнтів всихання для пиломатеріалу, який "рухається" вздовж осі X: а) нижньої (внутрішньої) пласті пиломатеріалу; б) верхньої (зовнішньої) пласті пиломатеріалу; в) суміщені графіки.

Результати розрахунків коефіцієнтів всихання пластів для пиломатеріалу, який "рухається" вздовж осі X: пиломатеріал знаходиться у першому квадранті та має такі координати: $a_1=150\dots-100$ мм, $a_2=250\dots0$, $b_1=180$ мм, $b_2=200$ мм. Ширина дошки становить 100 мм, товщина –20 мм. $K_{x1max}=8,157562$, $K_{x1min}=6,376017$. $K_{x2max}=8,157534$ $K_{x2min}=6,493529$. Графіки мають точки перетину: 8,15 та 7,47.

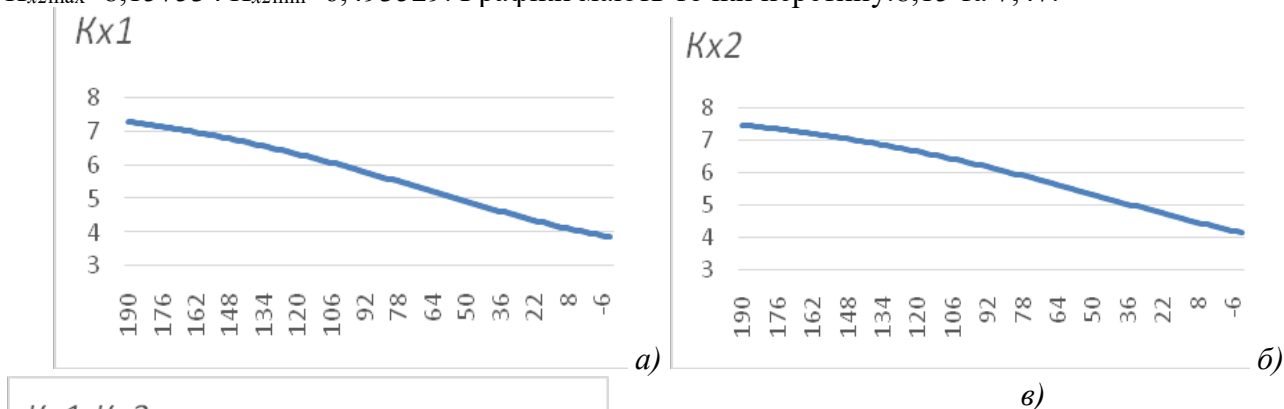


Рис. 4. Графіки зміни коефіцієнтів всихання для пиломатеріалу, який "рухається" вздовж осі Y: а) нижньої (внутрішньої) пласті пиломатеріалу; б) верхньої (зовнішньої) пласті пиломатеріалу; в) суміщені графіки.

Результати розрахунків коефіцієнтів всихання пластів для пиломатеріалу, що "рухається" вздовж осі Y: пиломатеріал знаходиться у першому квадранті та має такі координати $a_1=150\dots-100$ мм, $a_2=250\dots0$ мм, $b_1=180\dots-20$ мм, $b_2=200\dots0$ мм. Ширина дошки становить 100 мм, товщина –

20 мм. $K_{x1max}=7,286575$ $K_{x1min}=3,854158$. $K_{x2max}=7,47$ $K_{x2min}=4,15$. На графіках немає точок перетину. Аналізуючи графіки на рис. 3,4, можна відзначити, що можливі випадки, коли різниця коефіцієнтів всихання зовнішньої і внутрішньої пластей набуває від'ємного значення (рис. 3, в), а самі графіки перетинаються. Це свідчить про те, що в межах певної частини пиломатеріалу всихання зовнішньої пласті менше, ніж внутрішньої. Також можливі такі положення пиломатеріалів у колоді, для яких значення коефіцієнтів всихання пластей, є однаковими. Результати розрахунків (рис. 3, 4) також свідчать, що незалежно від товщини пиломатеріалу, різниця коефіцієнтів всихання пластей зменшується з віддаленням пиломатеріалу на схемі розпилювання від геометричного центру перетину колоди. Найбільша різниця властива пиломатеріалам, випиляним з центральної зони колоди. Зі збільшенням товщини пиломатеріалу різниця коефіцієнтів всихання його пластей зростає. Варто зазначити, що залежно від розташування пиломатеріалу в поперечному перетині колоди, а саме при зміні положення пиломатеріалу від радіального до тангенціального напрямку волокон в поперечному перетині, на результуюче значення коефіцієнтів всихання пласті більшою чи меншою мірою чинять вплив коефіцієнти всихання у радіальному K_r чи тангенціальному K_t напрямках, або ж вони одночасно впливають на результуюче значення коефіцієнта всихання пласті. Останній випадок характеризується найбільшими значеннями для цього коефіцієнта, що можна спостерігати на суміщеному графіку (рис. 3, в).

Висновки. Встановлено, що поперечне жолоблення пиломатеріалів залежно від їх розмірів, початкової і кінцевої вологості та розташування у поперечному перетині колоди, можна чисельно оцінити шляхом застосування коефіцієнтів всихання пластей пиломатеріалів. Показано, що коефіцієнти всихання пластей пиломатеріалів є функціями від відомих коефіцієнтів всихання у радіальному і тангентальному напрямках. Зокрема, коефіцієнти всихання пластей пиломатеріалів, досягають найменших значень, які є меншими за коефіцієнт всихання у радіальному напрямі або ж більшими за коефіцієнт всихання в тангенціальному напрямі. Отримані результати щодо характеру та величини поперечного жолоблення пиломатеріалу узгоджуються з результатами відомих досліджень.

Література

1. **Ashkenazi E.K.** (1978). *Anizotropiya drevesiny i drevesnykh materialov* [Anisotropy of wood and wood materials]. Forest industry, Moscow, 224, (in Russian).
2. **Dyachun Z.Y.** (2007). *Konstruyuvannya mebliv: Korpusni vyroby* [Furniture design: Cabinet products]. - Kyiv: Kyiv-Mohyla Academy House, part 1, 387, (in Ukrainian).
3. **Dyachun Z.Y.** (2011). *Konstruyuvannya mebliv: Stoly, stilti ta krisla, mebli dlya vidpochynku. Vzayemozaminnist, mitsnist* [Furniture design: Tables, chairs and armchairs, leisure furniture. Interchangeability, strength]. - Kyiv: Kyiv-Mohyla Academy House, part 2, (in Ukrainian).
4. **Ferents O.B., Maxsymiv V.M.** (2011). *Tekhnolohiya stolyarnykh vyrobiv* [Technology of carpentry]. – Lviv: UNFU, 400, (in Ukrainian).
5. **Gayda S.V.** (2007). Матеріали для виготовлення виробів з деревини / Навч. посібн. – Львів: ВМС. – 160 с. (in Ukrainian).
6. **Gayda S.V.** (2007). Проблема деревної сировини у Європі та Україні / *Problema derevnoyi syrovyny u Yevropi ta Ukrayini* [A problem of arboreal raw material is in Europe and Ukraine]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 33:55-63 (in Ukrainian).
7. **Gayda S.V.** (2011). Recycled of post-consumer wood is for the production of particleboard in Ukraine / Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry (Slovakia, Zvolen Juve 29 – July 01. 2011). TU Zvolen. – P. 108-121.
8. **Gayda S.V.** (2013). Techniques for utilization of post-consumer wood in the production of fuel pellets and briquettes. Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry (Slovakia, Zvolen Juve 23-26. 2013). TU Zvolen, 119-130.
9. **Gayda S.V.** (2013). Розроблення технології виробництва паливних гранул на основі енергетичного потенціалу вживаної деревини [Development of technology for the production of fuel pellets based on the energy potential of used wood]. Scientific Bulletin of UNFU 23.14:83-93. (in Ukrainian).
10. **Gayda S.V.** (2015). Investigation of physical and mechanical properties of post-consumer wood. Actual problems of forest complex 43:175-179, (in Russian).
11. **Gayda S.V.** (2015). Моделювання властивостей столярних плит із вживаної деревини на основі методу кінцевих елементів / Modeling properties of blockboards made of post-consumer wood on the basis of the fi-

nite element method. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 41:39-49. doi: <https://doi.org/10.36930/42154106>

12. **Gayda S.V.** (2016). A form of stability of blockboards made of post-consumer wood. Actual problems of forest complex 46:148-153 (in Russian).

13. **Gayda S.V.** (2016). A investigation of form of stability of variously designed blockboards made of post-consumer wood. *ProLigno* 12(1):22-31.

14. **Gayda S.V.** (2016). *Formoustoychivost' stolyarnykh plit iz vtorichno ispol'zuemoy drevesin* [A form of stability of blockboards made of post-consumer wood]. *Actual problems of forest complex* 46:148-153, (in Russian).

15. **Gayda S.V.** (2016). Research on physical and mechanical characteristics of front blockboards made from post-consumer wood [Дослідження фізико-механічних характеристик фасадних столярних плит із вживаної деревини]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 42: 33-50. doi: <https://doi.org/10.36930/42164206>

16. **Gayda S.V.** (2017). A technology and properties of furniture board made of post-consumer wood. Actual problems of forest complex 48:34-38 (in Russian).

17. **Gayda S.V.** (2017). Використання нечітких експертних систем для підтримки прийняття рішень в процесі сортування вживаної деревини / *Vykorystannya nechitkykh ekspertnykh system dlya pidtrymky pryyunyattya rishen' v protsesi sortuvannya vzhyyvanoyi derevyny* [Using fuzzy expert systems for decision support in the process of post-consumer wood sorting]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 43:5-20 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174301>

18. **Gayda S.V.** (2017). Комплексні дослідження зміни пружних властивостей вживаної деревини ялиці з віком / *Kompleksni doslidzhennya zminy pruzhnykh vlastyvostey vzhyyvanoyi derevyny yalytsi z vikom* [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 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174308>

19. **Gayda S.V.** (2018). A investigation and analysis of characteristics of solid furniture boards made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 44, 15-25. <https://doi.org/10.36930/42184402> (in Ukrainian).

20. **Gayda S.V.** (2018). Shape stability as a quality criterion for PCW-made blockboards. *Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine* 17:185-192 (in Ukrainian).

21. **Gayda S.V.** (2018). Strength of combined blockboard made of post-consumer wood (PCW). *Bulletin of KhNTUA* 197:3-9, (in Ukrainian).

22. **Gayda S.V.** (2018). Дослідження та аналіз характеристик щитових конструкцій із вживаної деревини / *Doslidzhennya ta analiz kharakterystyk shchytovykh konstruksiy iz vzhyyvanoyi derevyny* [A investigation and analysis of characteristics of solid furniture boards made of post-consumer wood]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 44:14-24 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184402>

23. **Gayda S.V.** (2018). Технологія МДФ-фасадів / *Tekhnolohiyi MDF-Fasadiv* [MDF Facade Technologies]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 44:70-83 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184410>

24. **Gayda S.V.** (2019). Scientific and technical basis of the use of used wood in woodworking: thesis of the Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.23. – Lviv: UNFU. – 465 (in Ukrainian).

25. **Gayda S.V.** (2019). **Development of constructions and technology of the PCW-made blockboards:** proceedings of the Scientific and Technical Conference, KhNTUA: 69-70 (in Ukrainian).

26. **Gayda S.V., Bilyy Ya.M.** (2016). The investigation of the shape stability of glued panels made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 42, 69-79. <https://doi.org/10.36930/42164211> (in Ukrainian).

27. **Gayda S.V., Dyak T.P.** (2011). The analysis of economic efficiency of post-consumer wood use for particleboard manufacture for LLC Swisspan Limited // *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 37.2:129-136. doi: <https://doi.org/10.36930/421137221>

28. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2013). Технология очистки вторично используемой древесины иглофрезерными станками [The technology of cleaning recycled wood with needle milling machines] // Actual problems and prospects of the development of LPK: materials II NTK., September 9-11, 2013 – Kostroma. – P. 36-39. (in Russian).

29. **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)

30. **Gayda S.V., Maksimiv V.M., Kiyko O.A., Ferenc O.B.** (2013). Залишки деревини та деревина після споживання. Класифікація. Терміни та визначення [Wood residues and post-consumer wood. Classification. Terms and definitions] / Agreement No. 08.24-11-1: draft international standard ISO. – Lviv: NLTU of Ukraine – 53 p. (in Ukrainian).

31. **Gayda S.V.** (2013). The technological solutions for recycling of post-consumer wood. Proceedings of I International Interdisciplinary Scientific Conference Formation of stable outlook as the basis of sustainable development (Ukraine, Lviv, 14-16 March 2013) UNFU: Lviv, 5-11.
32. **Hlukhykh V.N.** (2002). *O vozmozhnoy vzaymosvyazy postoyannykh upruhosty y koéffitsiyentov usushky drevesyny* [On the possible relationship of constant elasticity and shrinkage coefficients of wood] // Technology and equipment of woodworking industries. Scientific Bulletin of SPb, LTA. 124-128, (in Russian).
33. **Kryvyk O.O., Mayevskyy V.O.** (2011). Dynamics of shape stability change for glued panels with a combination of different wood species. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry, 37(1), 30-33.
34. **Maevskyy V.O.** (2014). *Osnovni napryamy doslidzhen u vyrobnytstvi kleyenykh shchytovykh konstruktsiy z derevyny iz dotrymannyam teksturnykh osoblyvostey* [The main directions of research in the production of glued panel structures made of wood with respect to textural features]. Scientific Bulletin of UNFU 24.5: 150-155 (in Ukrainian).
35. **Mitchell, P. H.** (2016). Modeling the Cupping of Lumber. BioResources, 11(3), 6416-6425.
36. **Porter B.** (2001). Carpentry and Joinery– Vol. 1, 694.
37. **Sokolov P.V.** (1971). *Vlyyanye nekotorykh faktorov na sylu koroblenyya drevesyny* [Influence of some factors on the force of wood warping]. Moscow: Woodworking industry 3: 8-10, (in Russian).
38. **Uholev B.N.** (1950). *Vnutrennye napryazhenyya v drevesyne pry ee sushke* [Internal stresses in wood during its drying]. Moscow: Goslesbumizdat, 116, (in Russian).
39. **Vintonov I.S. Sopushinsky I.M., Taishinger A.** (2007). *Derevynoznavstvo* [Wood Science]: textbook. way. - Lviv: Apriori, 312, (in Ukrainian).
40. **Wood Handbook** (2010). Wood as an Engineering Material. Gen. Tech. Rep. / FPL–GTR–190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508.
41. **Xiang, Z., Peralta, P., & Peszlen, I.** (2012). Lumber drying stresses and mitigation of cross-sectional deformation. Wood and Fiber Science, 44(1), 94-102.

UDC 674.06*674.21 **M.V. Udovytska – TK UNFU; assoc. prof. L.O. Tysovskyy; prof. V.O. Mayevskyy; assoc. prof. O.M. Udovyskiy; assoc. prof. M.M. Mysyk – UNFU; O.M. Mayevska – ICB NAS of Ukraine**

The cupping of lumber depending on change of their moisture and geometric characteristics

Laminated panels are common among structural elements for the production of a variety of wood products. Most studies of laminated structures are limited to the analysis of their physical and mechanical characteristics. In the case of using laminated panels as the facade surfaces of joinery and furniture, the importance of their aesthetics is also important. The quality of the laminated structures is conditioned by the properties of its individual sections, so it is important to take into account the properties of these sections for the rational choice of the scheme for the formation of the laminated structure and to predict its quality. The main reasons for the possible change in the shape of the surfaces of the laminated structures are described. Drying and swelling lead to a change in the size and shape of both parts and products of wood and lumber used for their manufacturing. The warping of lumber is a pronounced defect. The main causes of the lumber warping are the anisotropy of the properties of the wood and the unevenness of its structure, as well as the uneven change in moisture in different structural directions. The lumber, depending on their location in the log, has unequal resistance to the transverse cup warping. When calculating moisture deformations, the concept of relative deformation of drying is used. Quantitative characteristics of wood drying are the corresponding coefficients of drying characterizing the change in geometric dimensions. If the drying of the layers of the board is not equal, then such boards will have a transverse cup warping. In order to solve the problem of rational choice of the formation scheme of laminated panel structures and predicting their quality even before gluing, the mathematical model for the theoretical study of the shape change of lumber was developed. Obtained engineering formulas for calculating the coefficients of wood drying show that the form change of lumber depends mainly on its size, moisture and location in the log. To determine the magnitude of the shrinkage coefficients of the lumber layers, it is advisable to use the shrinkage coefficients in the radial and tangential directions.

Key words: lumber, laminated panel, cupping, shrinkage coefficients, wood moisture, cross section of log.