

(рис. 3). Покриття № 12 зношується дещо більше, однак інтенсивність величини зносу у нього значно нижча, ніж у покриття №3. Необхідно зауважити, що підвищення вмісту нікелю до 7 % (покриття Ti-Ni-N (№ 15)) і 45 % (покриття Ti-Ni-N (№ 13)) приводить до істотного підвищення стійкості покриттів, при цьому значно менше зношується і контртіло.

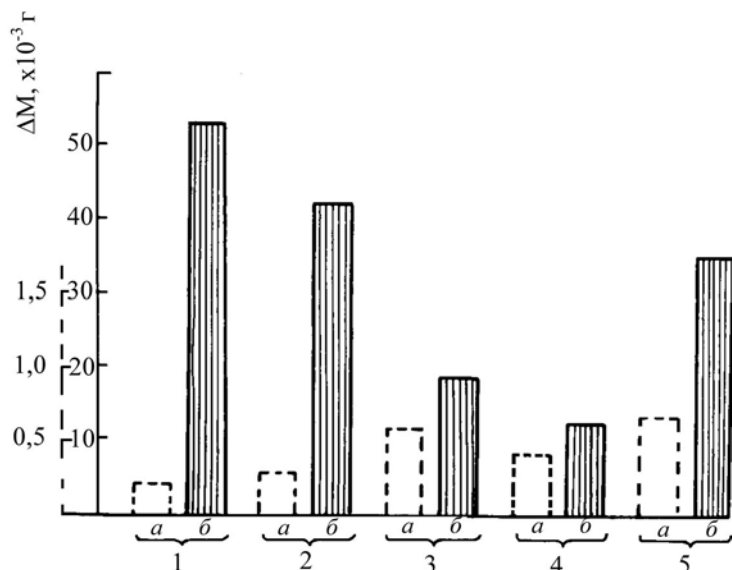


Рис. 3.
Зношення кільця (а)
і вкладки (б – заштриховані
стовбчики) при терті з
покриттями:
1 – Ti-N (№3);
2 – Ti-Ni-N (№12);
3 – Ti-Ni-N (№15);
4 – Ti-Ni-N (№13);
5 – Mo-N (№22)

Таким чином, застосування вакуумних йонно-плазмових покриттів може істотно підвищити зносостійкість деталей машин з вуглецевих нетермооброблених сталей. Залежно від режимів роботи вузлів тертя можна застосовувати покриття Ti-N (№3) і Ti-Ni-N (№12) при умові необхідності забезпечення високої стійкості тільки однієї деталі спряження або покриття Ti-Ni-N (№ 15, № 13) для забезпечення необхідної стійкості всієї пари тертя.

Застосування цих покриттів є незамінним для деталей машин, зміцнення термічною обробкою яких з тих чи інших причин неможливе.

УДК 674.02

Доц. В.О. Маєвський, канд. техн. наук;
магістр Ю.В. Бенях – НЛТУ України

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМОСТІЙКОСТІ КЛЕЄНИХ ЩИТІВ З МАСИВНОЇ ДЕРЕВИНИ ДУБА

Розглянуто різні варіанти клеєних щитів, які склеєні з ділянок масивної деревини та особливості розміщення тахлі в пазах рамки. Виконано експериментальні дослідження, встановлено регресійні залежності для визначення величин розбухання і стріли прогину клеєних щитів після розбухання та всихання залежно від ширини заготовок та кута нахилу річних шарів та проведено їх оптимізацію. Розраховано собівартість виготовлення клеєних щитів із заготовок шириною 40 та 65 мм.

Doc. V.O. Mayevskyy; master Yu.V. Benyah – NUFWT of Ukraine

Investigations of stability of shape of Composite boards from oak solid wood

It was considered the different variants of composite boards, which were glued from wood parts, and features of panel arrangement in groove of frame. It was performed the experimental investigations about establishment of regression dependence for determination

of swelling size and line bend of composite boards after swelling and drying according to width blanks and canting angle of rings. It was realized the optimization of these parameters. It was calculated the cost price of composite boards using from blanks with 40 and 65 mm width.

Актуальність досліджень

Розвиток техніки і технологій у деревообробній галузі сприяв появі на ринку нових та урізноманітненню і покращенню властивостей наявних видів композиційних конструкційних матеріалів з деревини, які створюють гідну конкуренцію масивній деревині. Це відносно недорогі матеріали, що дають змогу виготовляти меблі, орієнтовані на широке коло споживачів. До таких матеріалів можна зарахувати деревинностружкові (ДСП, постформінг, соф-тформінг, OSB) та деревинноволокнисті (ДВП, MDF) плити, фанеру.

Незважаючи на всі позитивні характеристики композиційних конструкційних матеріалів, вони мають ряд недоліків, основними з яких є гірші декоративні властивості і токсичність, зумовлена використанням синтетичних клеїв. Окрім того, у масивної деревини є характерні особливості, які практично неможливо відтворити у композиційних матеріалах, зокрема об'ємність текстури, здатність до відтворювання попередньої форми за зміни вологи, стабільність механічних показників за перепаду температури, відсутність розшарування за товщиною та відклеювання крайки.

Популярність виробів з масивної деревини залишається незмінною впродовж багатьох років та не втратила актуальності і на сьогодні. Однак, зважаючи на капілярно-пористу будову деревини та анізотропність її властивостей, деревина як конструкційний матеріал має також і недоліки, основними з яких є зміна лінійних розмірів, розтріскування та короблення окремих деталей і навіть руйнування виробів у цілому за зміни вологості деревини. Тому дослідження формостійкості клеєних щитів з масивної деревини, які після відповідної механічної обробки використовуватимуться у рамко-тахлевих конструкціях як тахлі, є актуальним питанням, особливо стосовно впливу нахилу річних шарів і ширини заготовок на якість меблевого або столярного виробу в умовах його експлуатації.

Основною метою виконаних досліджень є покращення формостійкості клеєних щитів з масивної деревини за рахунок вибору оптимальної ширини заготовок та нахилу річних шарів.

Об'єкт дослідження – клеєний щит з масивної деревини.

Предмет дослідження – формостійкість клеєного щита з масивної деревини.

Методи дослідження: математичної статистики – для обробки результатів експериментальних досліджень; математичної теорії планування експериментів – для встановлення регресійних моделей та їх аналізу; математичного програмування – для рішення задачі оптимізації математичних і регресійних моделей.

Аналіз відомих досліджень

У процесі сушіння, зберігання та експлуатації пилопродукції може відбуватися відхилення її форми від заданої – короблення. Анізотропія вси-

хання приводить до зміни форми поперечного перетину пилопродукції, випиляної з різних місць колоди після сушіння (рис. 1). В основному, короблення виявляється на поперечному перетині пилопродукції – жолоблення, яке є результатом різниці радіального і тангенціального всихання, пов'язаного з кутом нахилу річних шарів до пластів пилопродукції. Дифузія вологи в деревині є причиною виникнення внутрішніх напружень. Характер зміни внутрішніх напружень достатньо складний, тому передбачити і точно визначити короблення пилопродукції надзвичайно важко [1].

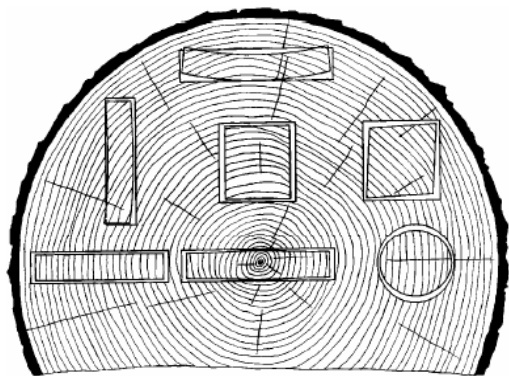


Рис. 1. Схема зміни форми поперечного перерізу пилопродукції, випиляної з різних місць колоди після сушіння [2]

На зміну форми та розмірів пилопродукції істотний вплив має також і порода деревини. Для пилопродукції з твердолистяних порід характерна більша величина зміни форми та розмірів порівняно з м'яколистими і хвойними породами.

Клеєний щит, який має велику ширину, необхідно склеювати із вузьких ділянок (заготовок). Це викликано тим, що широкі щитові клеєні конструкції піддаються жолобленню, на яке впливає розміщення волокон, напрям річних шарів у ділянках і наявність різних зон деревини в ділянці. Залежно від розміщення річних шарів і напрямку волокон у ділянках, з яких склеюється щит, не завжди вдається уникнути його жолоблення в реальних умовах експлуатації. Так, для випадку, коли щит склеюється з широких ділянок тангенціального випилювання із розміщенням річних шарів в одному напрямку (рис. 2), жолоблення такого щита одностороннє і має гладку поверхню. А якщо ділянки у щиті розмістити по чергові з річними шарами в двох напрямках (рис. 3), то жолоблення такого щита буде складним і з хвилястою поверхнею.



Рис. 2. Клеєний щит з широких ділянок тангенціального випилювання із розміщенням річних шарів в одному напрямку



Рис. 3. Клеєний щит з широких ділянок тангенціального випилювання із перемінним розміщенням річних шарів в двох напрямках

Викривлення заготовок тангенціального випилювання зумовлене різною величиною всихання ранньої і пізньої зон. Пізня зона всихається більше, ніж рання і річне кільце прагне до вирівнювання, а сама заготовка жолобиться.

Клеєний щит з широких ділянок радіального випилювання, річні шари яких розміщені перпендикулярно до площини (рис. 4), жолоблення не зазнає, але його поверхня може бути нерівною через нерівномірне всихання заболонної та ядрової частини ділянки.

У процесі виготовлення клеєних щитів необхідно забезпечити потрібну якість, зокрема належну їм формостійкість. У такому випадку кращий варіант – склеювання щитів з вузьких ділянок (із заболонної або ядрової частини) радіального випилювання, які потрібно розміщувати так, щоб напрям волокон на сусідніх ділянках був розвернутий на 180° один відносно одного (рис. 5) і при цьому не втрачалися декоративні властивості отримуваної поверхні. Проте виконання цих умов для забезпечення виробництва клеєних щитів не є оптимальним варіантом з точки зору використання сировини, трудозатрат та затрат коштів.



Рис. 4. Клеєний щит з широких ділянок радіального випилювання, річні шари яких розміщені перпендикулярно до площини

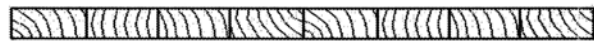


Рис. 5. Клеєний щит з вузьких ділянок (із заболонної або ядрової частини) радіального випилювання, розміщених так, щоб напрям волокон на сусідніх ділянках був розвернений на 180° один відносно одного

У спеціалізованій науково-технічній літературі питання вибору ширини заготовок, з яких склеюють щити, є дискусійним. Одні вважають, що відношення ширини ділянки до її товщини не має перевищувати 1.5 раза [3], інші – 2.2 [4]. Ряд науковців дотримуються думки, що максимально допустима ширина брусків із масивної деревини для виготовлення меблевих виробів, не має перевищувати 100 мм [5].

Важливу увагу необхідно приділити і самій конструкції рамко-тахлевого фасаду з масивної деревини. Тахля, встановлена в паз рамки (рис. 6), у процесі експлуатації при зволоженні може змінювати свої розміри від l (для експлуатаційної вологості) до $(l + a)$ (для максимальної вологості). Щоб уникнути руйнування конструкції, необхідно робити пази в рамці з врахуванням можливої зміни розмірів тахлі на величину a .

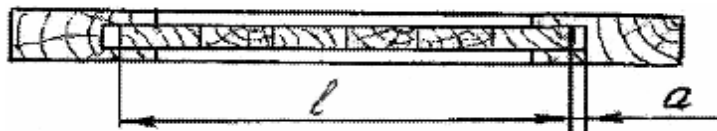


Рис. 6. Схема розміщення тахлі в пазах рамки

Внаслідок неоднакового всихання деревини вздовж і впоперек волокон торці наскрізних шипів з часом стають помітними. Тому, для виготовлення рамок часто використовують з'єднання в паз і шип, у яких торці шипів не виходять на поверхню. Для забезпечення жорсткості конструкції шип повинен входити в паз достатньо глибоко і відносно щільно. Щоб уникнути руйнування конструкції рамко-тахлевого фасаду і розтріскування тахлі, не дозволяється шип тахлі приклеювати в пазах до рамки. Можлива зміна розмірів тахлі під дією вологи в процесі експлуатації повинна відбуватись вільно в межах величини зазору.

Методика і проведення експериментальних досліджень

Для виготовлення експериментальних взірців ($T \times Ш \times Д$ 18×280×380 мм) використано деревину дуба. Дотримано вимог, що ставляться до заготовок при їх склеюванні: вологість деревини не більше 8 %, різниця вологості двох

сусідніх, склеюваних між собою заготовок менше 2 %, шорсткість поверхні заготовок при склеюванні на гладку фугу не більше 200 мкм для параметра шорсткості $R_{m\max}$. Склеювання заготовок у щити на гладку фугу проведено полівінілацетатним клеєм CASCOL 3326, який відповідає вимогам щодо міцності, тепло- і водостійкості з'єднання та безпечності для здоров'я людини.

Експеримент щодо дослідження впливу агресивного середовища на характер жолоблення клеєних щитів, зокрема величини їх розбухання і стріли прогину після розбухання та всихання, проводився впродовж місяця (30 діб). Під час експерименту створювали такі агресивні умови, які відповідають умовам кухонної кімнати. Час проведення експерименту був поділений на етапи. Експеримент складено з 6-ти етапів по декілька днів. Кожного дня циклічно змінювали температуру і відносну вологість повітря до необхідного значення. Враховано, що під час приготування їжі впродовж в середньому 4-5-ти годин на добу спостерігається зміна температури повітря від 18 до 25(30)°C (рис. 7) і відносної вологості повітря від 50 до 92 %, які справляють негативний вплив на деревину і можуть спричинити її розбухання та всихання, а як наслідок жолоблення деталей фасаду. Відносна вологість повітря за нормальних умов знаходилася в межах 60-65 %, а для створення агресивного середовища її збільшували до 70-75 %, а в окремих випадках до 92 % (рис. 8).

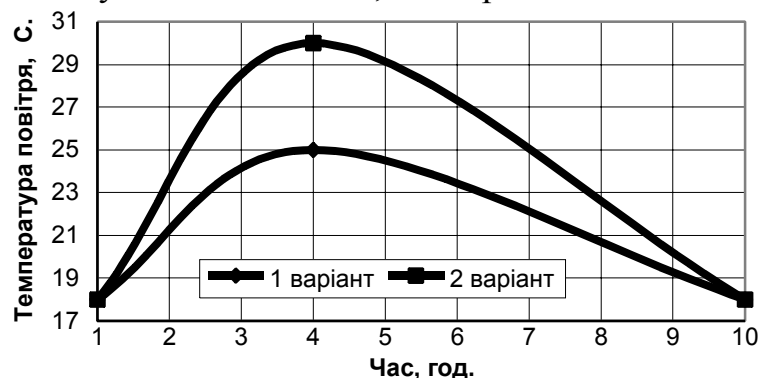


Рис. 7. Характер зміни температури впродовж дня



Рис. 8. Характер зміни відносної вологості повітря впродовж експерименту

У ході проведення експерименту щодо визначення величини розбухання і стріли прогину клеєних щитів після розбухання та всихання, що прийняті

за вихідні величини, на отриманий результат впливали також цілий ряд інших чинників, які розділено на три групи:

1. Змінні чинники: ширина заготовок та нахил річних шарів. На основі аналізу спеціалізованої науково-технічної літератури та проведених попередніх досліджень числові значення змінних чинників прийнято: ширина заготовок (B) 40.0...100.0 мм та нахил річних шарів (P) 0...90°.
2. Постійні чинники: порода деревини – дуб, товщина заготовок – 18 мм, клей – ПВА дисперсія (CASCOL 3326).
3. Збурюючі чинники: відносна вологість навколишнього середовища – 50...92 %, температура навколишнього середовища – 18...30°C, вологість зразків – $6...8 \pm 1$ %, тривалість дії агресивного середовища ≈ 4 год (щоденно протягом 30 діб).

Результати експериментальних досліджень

Розрахунок коефіцієнтів рівнянь регресії проведено на ЕОМ із використанням електронних таблиць Microsoft Excel XP з пакету прикладних програм Microsoft Office XP. Для розрахунку коефіцієнтів застосовано метод Ньютона та концепцію підбору параметрів за допомогою процедури пошуку рішень, щоб значення суми квадратів відхилень було мінімальним.

Отримані рівняння регресій для визначення величини розбухання (Y_1) і стріли прогину клеєних щитів після розбухання (Y_2) та всихання (Y_3) залежно від змінних чинників – ширини заготовок (X_1, B) та кута нахилу річних шарів (X_2, P) в натуральних позначеннях чинників матимуть такий вигляд:

$$Y_1 = 4.210 - 0.036 \cdot B - 0.031 \cdot P + 0.0002 \cdot B^2 + 0.0001 \cdot P^2 + 0.0001 \cdot B \cdot P; \quad (1)$$

$$Y_2 = 2.437 - 0.026 \cdot B - 0.006 \cdot P + 0.0002 \cdot B^2 - 0.0001 \cdot P^2 + 0.0001 \cdot B \cdot P; \quad (2)$$

$$Y_3 = 1.357 - 0.008 \cdot B - 0.025 \cdot P + 0.0001 \cdot B^2 - 0.0001 \cdot P^2 + 0.0001 \cdot B \cdot P. \quad (3)$$

Проведений статистичний аналіз рівнянь регресій дозволив зробити висновок, що регресійні моделі (1...3) є адекватними та можуть використовуватися для визначення величини розбухання (Y_1) і стріли прогину клеєних щитів після розбухання (Y_2) та всихання (Y_3).

Графічне представлення результатів дослідження

Для більш наочного представлення результатів досліджень на графіках (рис. 9-11) наведено залежності величини розбухання і прогину клеєних щитів після розбухання і всихання від ширини заготовок та нахилу річних шарів.

З графіка (рис. 9) видно, що зменшення ширини заготовки призводить до зростання величини розбухання клеєного щита, особливо для кута нахилу волокон 0°, цей вплив менш помітний для 45° і практично відсутній для кута нахилу 90°. Зменшення кута нахилу річних шарів від 90° до 45° практично не впливає на розбухання, а подальше зменшення кута нахилу до 0° характеризується різким збільшенням величини розбухання клеєного щита.

Вплив кута нахилу річних шарів на прогин клеєного щита з масивної деревини після розбухання (рис. 10) характеризується різким збільшенням прогину за зменшення кута нахилу від 90° до 45° і дещо меншим збільшенням

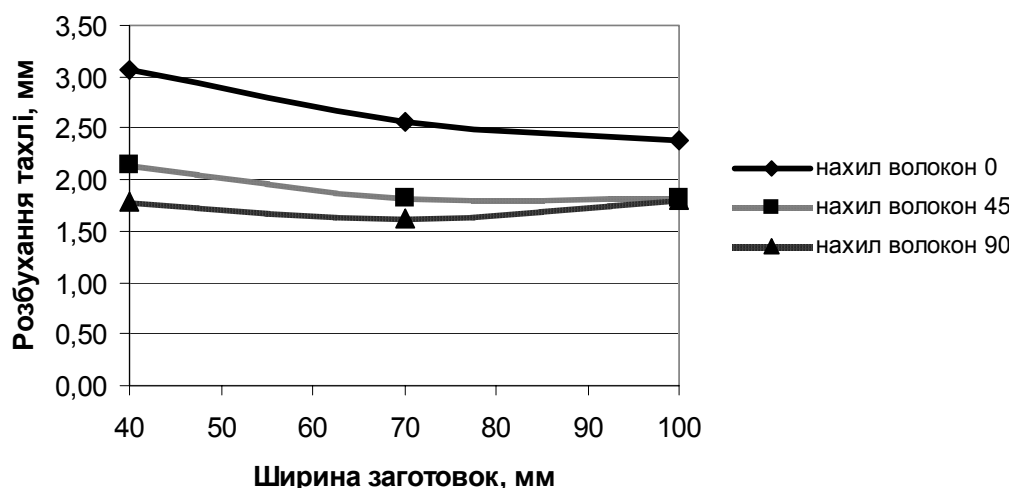


Рис. 9. Вплив ширини заготовок і нахилу річних шарів на розбухання клеєного щита

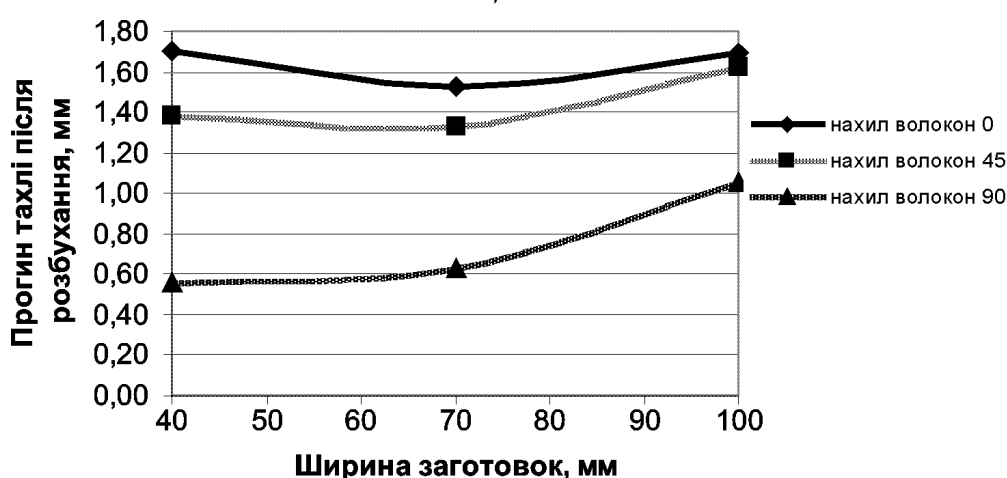


Рис. 10. Вплив ширини заготовок і нахилу річних шарів на прогин клеєного щита після розбухання

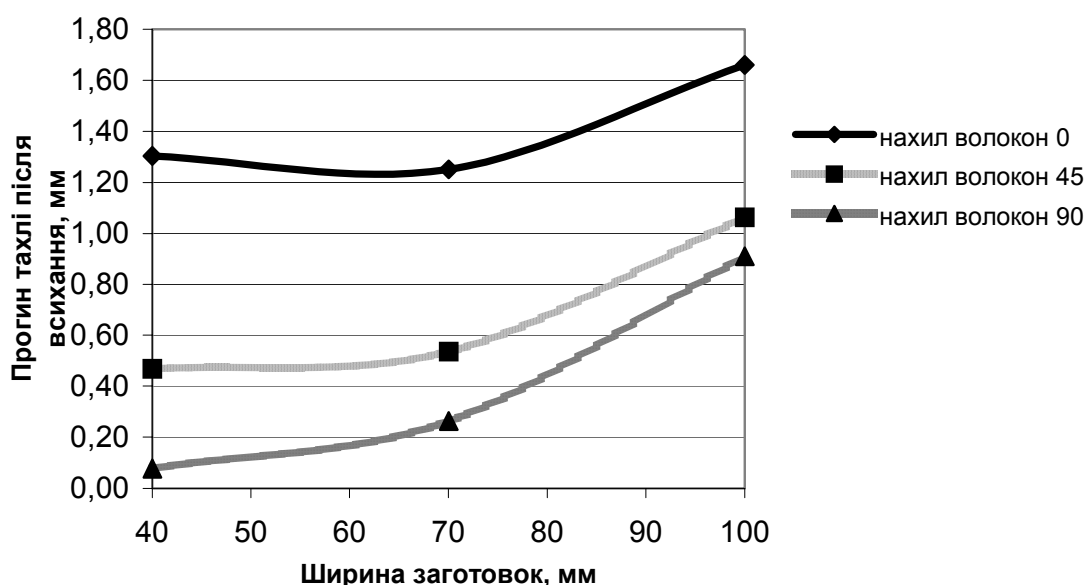


Рис. 11. Вплив ширини заготовок і нахилу річних шарів на прогин клеєного щита після всихання

прогину для кута нахилу від 0° до 45° . Аналогічний характер залежності вихідної величини від змінних чинників спостерігається і після аналізу впливу ширини заготовок та нахилу річних шарів на величину прогину клеєного щита

після всихання (рис. 11). Вплив кута нахилу річних шарів на прогин клеєного щита з масивної деревини після всихання характеризується різким збільшенням прогину за зменшення кута нахилу від 45° до 0° і дещо меншим збільшенням прогину для кута нахилу від 45° до 90° . Причому, слід зауважити, що вплив ширини заготовок на прогин клеєного щита (рис. 10, 11) не є таким яскраво вираженим – він практично відсутній для заготовок шириною від 40 до 70 мм (для різних кутів нахилу річних шарів) та на 25...200 % більший для заготовок шириною 100 мм.

Оптимізація результатів експерименту

Оптимізацію отриманих математичних моделей проведено з використанням ЕОМ. У стандартній програмі "Microsoft Excel" з пакету прикладних програм "Microsoft Office" за допомогою процедури "Пошуку рішень" визначили оптимальні значення ширини заготовки і нахилу річних шарів. При цьому обмежились величиною прогину щитів $f_{\max} \leq 0.6$ мм згідно зі стандартом [6]. Отримані результати наведено у табл. 1.

Табл. 1. Результати оптимізації

№ з/п	Ширина заготовки		Нахил волокон		Прогин
	у нормалізованих позначеннях	у натуральних величинах, мм	у нормалізованих позначеннях	у натуральних величинах, град.	
1	–1	40	0,52	68	Для всіх випадків $\leq 0,6$ мм
2	–0,83	45	0,6	72	
3	–0,62	50	0,7	77	
4	–0,5	55	0,76	79	
5	–0,34	60	0,84	83	
6	–0,26	65	0,92	86	
7	–0,07	67,9	1	90	

Результати оптимізації засвідчили, що оптимальне значення ширини заготовки 40 мм, при цьому кут нахилу річних шарів не повинен бути меншим 68° . Максимально допустима ширина заготовки не повинна перевищувати 67,9 мм, але при цьому кут нахилу зростає до 90° .

Отримані результати експериментальних досліджень дають змогу провести порівняльний розрахунок собівартості виготовлення клеєних щитів з різних ширин заготовок, які після відповідної механічної обробки використовуватимуться у рамко-тахлевих конструкціях як тахлі. На основі економічного аналізу вхідних даних і результатів оптимізації розраховано орієнтовну собівартість виготовлення клеєних щитів розміром $18 \times 280/380$ мм із заготовок шириною 40 та 65 мм. Собівартість виготовлення 100 клеєних щитів розраховано за класичною методикою та наведено у табл. 2 [7].

Аналіз калькуляції орієнтовної собівартості виготовлення клеєних щитів (табл. 2) засвідчив, що зменшення ширини заготовки призводить до збільшення собівартості. Оскільки зменшення ширини заготовки потребує збільшення їх кількості для виготовлення клеєного щита відповідної ширини, що, в свою чергу, призводить до збільшення сумарних витрат деревини на припуски механічної обробки і часу виконання технологічних операцій. Окрім того, також зростає кількість склеюваних поверхонь, що вимагає більше часу

і витрат клею на проведення операції склеювання. Тому для виготовлення клеєних щитів доцільно за можливості використовувати заготовки більшої ширини в межах від 40 до 65 мм, але з врахуванням нахилу волокон.

Табл. 2. Калькулювання орієнтовної собівартості виготовлення 100 клеєних щитів

№ з/п	Статті витрат	Витрати, грн.	
		Ширини заготовок	
		40 мм	65 мм
1	Прямі матеріальні витрати:		
	а) на деревину	215,22	210,99
	б) на клей	30,03	16,55
2	Прямі витрати на оплату праці	111,61	103,66
3	Відрахування на загальнообов'язкове соціальне страхування	42,86	39,81
4	Загальновиробничі витрати:		
	а) електроенергія		
	- на технологічні потреби	6,81	6,07
	- на освітлення	1,67	1,48
	б) амортизаційні відрахування	170,41	145,70
Разом:		578,61	524,26

Висновки:

1. За результатами експериментальних досліджень отримано рівняння регресій для визначення величин розбухання і стріли прогину клеєних щитів після розбухання та всихання, залежно від ширини заготовок та кута нахилу річних шарів, які є адекватними та можуть використовуватися для прогнозування вихідних величин.
2. Результати оптимізації засвідчили, що оптимальне значення ширини заготовки 40 мм, при цьому кут нахилу річних шарів не повинен бути меншим 68°. Максимально допустима ширина заготовки не повинна перевищувати 67,9 мм, але при цьому кут нахилу зростає до 90°.
3. Аналіз калькуляції орієнтовної собівартості виготовлення клеєних щитів засвідчив, що зменшення ширини заготовки призводить до збільшення собівартості. Тому, для виготовлення клеєних щитів доцільно за можливості використовувати заготовки більшої ширини в межах від 40 до 65 мм, але з врахуванням нахилу волокон.
4. Експериментальні дослідження проведено для неопорядженої деревини клеєних щитів, які після відповідної механічної обробки використовуватимуться у рамко-тахлевих конструкціях як тахлі, що дозволило виключити можливість впливу на результати експерименту таких значущих чинників, як вид лакофарбового матеріалу, технології опорядження та рамкової конструкції.

Література

1. Соколовский Я.И., Поберейко Б.П. Расчет нестационарных напряжений в древесине при воздействии влаги// Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, № 1. – 2000. – С. 7-9.
2. Wood handbook – wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep/ FPL – GTR – 113. Madison, WI: U.S. Department Agriculture, Forest Service, Forest Products laboratory. – 1999. – 463 p.

3. Бобиков П.Д. Конструирование столярно-мебельных изделий. М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 174 с.

4. Буглай Б.М., Гончаров М.А. Технология изделий из древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1985. – 408 с.

5. Бухтияров В.П. Технология производства мебели. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 264 с.

6. ГОСТ 6449.3-82 Допуски формы и расположения поверхностей. – М.: Изд-во стандартов, 1982.

7. Бенях Ю.В. Особливості рамко-тахлевої конструкції з масивної деревини: Магістерська робота/ УкрДЛТУ. – Львів, 2003. – 90 с.

