

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЙОК НА ФОРМОСТІЙКІСТЬ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ ІЗ ДЕРЕВИНИ БУКА РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Отримано регресійну залежність для прогнозування формостійкості меблевих щитів, в яких рейки із масиву бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різного поперечного перерізу, зокрема товщиною 24 мм, шириною ($B_{\text{шир}} = 36, 60, 84$ мм) та кутом нахилу річних шарів, A_n : тангентальний $0-30^\circ$; напіврадіальний $31-60^\circ$; радіальний $61-90^\circ$. Результати цього дослідження дали змогу отримати рівняння регресії для визначення стріли прогину меблевих щитів S_{pn} , залежно від змінних чинників – кута нахилу річних шарів (X_1 , A_n) та ширини заготовок (X_2 , $B_{\text{шир}}$) та Обидва змінних фактори впливають по-різному: збільшення кута – зменшує стрілу прогину, ширина – прямопропорційно, тобто збільшує стрілу прогину із зростанням ширини. Найбільше на формостійкість меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного з почерговим укладанням впливає перший фактор A_n (x_1) – кут нахилу річних шарів в рейках. Встановлено, що вплив другого фактору $B_{\text{шир}}$ (x_2) на S_{pn} у порівнянні з першим A_n (x_1) є в 2,4 рази меншим. Виявлено, що збільшення ширини від 36 до 84 мм призводить збільшення величини стріли прогину на 128,17-169,75 % для різних кутів, а збільшення кутів нахилу від 0 до 90 градусів призводить також зменшення на 145,57-234,81 % для різних ширин. За результатами експериментальних досліджень з'ясовано, що збільшення ширини рейок від 1:1 до 1:3,5 (співвідношення товщина – ширина) призводить до збільшення відхилення від площинності (на 128,17-169,75 %); збільшення кута нахилу річних кілець до пластів щита від 0 до 90° призводить до покращення формостійкості (на 145,57-234,81 %).

Ключові слова: бук звичайний, лісовий або європейський (*Fagus sylvatica* L.), меблевий щит, технологія, конструкції меблевих щитів, формостійкість, вологість, температура, розбухання, всихання, напруження, деформація, ортотропні матеріали, полівінілацетатні клеї, клейове з'єднання деревини, міцність.

Актуальність досліджень. Сьогодні, як ніколи ефективно використовуються клеєні конструкції – конструкційні щитові матеріали. Цьому посприяв технологічний прогрес. 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 та деревинноволокнисті плити, фанеру та інші нетрадиційні. Всім відомо про позитивні характеристики композиційних конструкційних матеріалів, але вони мають ряд недоліків, зокрема це гірші декоративні властивості і токсичність, яка зумовлена використанням синтетичних клеїв. Неперевершеність та популярність виробів з масивної деревини залишається незмінною впродовж багатьох років та не втратила актуальності і на сьогодні. Це завдяки тому, що у масивної деревини є характерні особливості, які практично неможливо відтворити у композиційних матеріалах, зокрема об'ємність текстури, здатність до відтворення попередньої форми за зміни вологи, стабільність механічних показників за перепаду температури, відсутність розшарування за тов-

¹ Подібка Тарас Іванович – аспірант, кафедра технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04, +38-098-415-23-94. Email: t.podibka@nltu.edu.ua ; <https://orcid.org/0009-0008-2335-9223>

щиною та відклеювання крайки. 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 меблевих щитів з масивної деревини, зокрема з деревини бука звичайного, є актуальним питанням, особливо стосовно впливу кута нахилу річних шарів і ширини заготовок на якість меблевого або столярного виробу в умовах його різної експлуатації.

Мета – встановлення закономірностей впливу агресивного середовища на формостійкість меблевих щитів із деревини з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різних конструкцій. **Об'єкт дослідження** – меблевий щит з масивної деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.). **Предмет дослідження** – вплив ширини заготовок та кута нахилу річних шарів в рейках на формостійкість меблевих щитів із деревини з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) за різних умов експлуатації.

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

Аналіз відомих досліджень. Комплексне використання деревинних ресурсів вимагає використання короткомірних заготовок для подальшого її склеювання шляхом зрощування або склеювання на гладку фугу у щити [11-20, 31-33]. Але деревина є гігроскопічним матеріалом, який має свою вологість, розміри та форму залежно від умов експлуатації. І тут криється проблема – як отримати стабільний за формою щитовий матеріал? Адже зміна форми та розмірів, які перевищують нормативні показники, знижують ефективність складальних операцій, порушують цілісність конструкції, що впливає на терміни експлуатації. У процесі сушіння, зберігання та експлуатації пилопродукції може відбуватися відхилення її форми від заданої – короблення. Анізотропія всихання 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 пласті 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 [1-2, 15-24, 39-56].

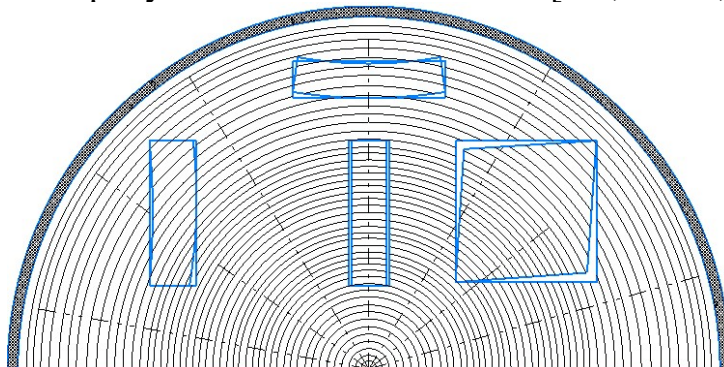


Рис. 1. Схема зміни форми поперечного перерізу пилопродукції, випиляної з різних місць колоди після сушіння

Необхідно зазначити, що 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'яколистяними і хвойними породами. Меблевий 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 однобічне 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.

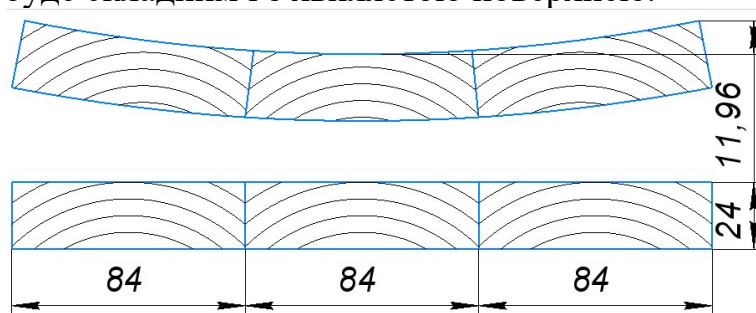


Рис. 2. Меблевий щит з широких ділянок тангенціального випилювання із розміщенням річних шарів в одному напрямку

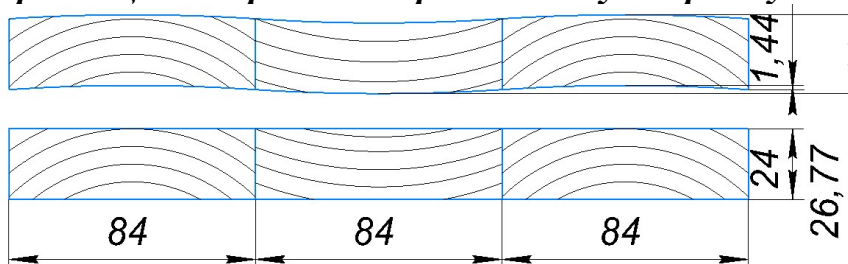


Рис. 3. Меблевий щит з широких ділянок тангенціального випилювання із перемінним розміщенням річних шарів в двох напрямках

Відомо, що 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. Меблевий 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. Механічні властивості, притаманні деревині різних порід, позбавлених вад, досить добре вивчені. Інша справа клеєні конструкції. У процесі виготовлення меблевих 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 меблевих щитів не є оптимальним варіантом з точки зору використання сировини, трудозатрат та затрат коштів.

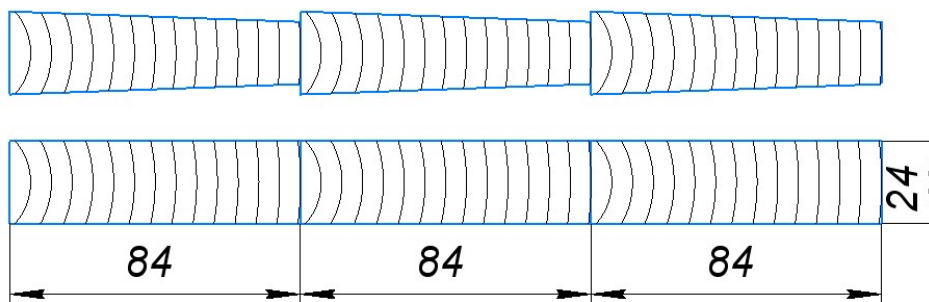


Рис. 4. Меблевий щит з широких ділянок радіального випилювання, річні шари яких розміщені перпендикулярно до площини

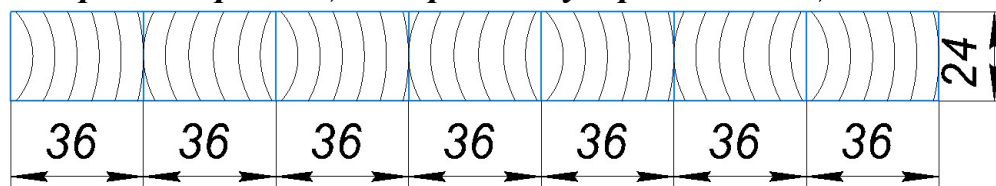


Рис. 5. Меблевий щит з вузьких ділянок (із заболонної або ядрової частини) радіального випилювання, розміщених так, щоб напрям волокон на сусідніх ділянках був розвернений на 180° один відносно одного

Багато науковців займались формостійкістю щитових конструкцій, зокрема, Маєвський В.О. Гайда С.В., Кійко О.А., Пардаєв А.С., Беняк Ю.В., Кривик О.О. Кійко І.О., Кушніт А.С., М'якуш Б.М. та інші. У спеціалізованій науково-технічній літературі питання вибору ширини заготовок, з яких склеюють щити, є дискусійним [1-10]. Одні вважають, що відношення ширини ділянки до її товщини не має перевищувати 1,5 рази [7], інші – 2.2 [29]. Ряд науковців дотримуються думки, що максимально допустима ширина брусків із масивної деревини для виготовлення меблевих виробів, не має перевищувати 100 мм [6]. Вчений Маєвський В.О. [30] пропонує максимально допустиму ширину рейок 67,9 мм для радіальних рейок з деревини дуба для товщин 18 мм. Науковці Гайда С.В. та Кійко О.А. пов'язують ширину брусків для меблевих чи столярних щитів у співвідношенні 1:3 [25-28]. Проблемою деформативності займались також такі вчені Соколовський Я.І., Левкович М., Мокрицька О. [36], Головата С., Соколовський Я.І., Поберейко Б.П. [37], Соколовський Я.І., Криштапович В.І. та ін. [38].

Методика експериментальних досліджень. Методика реалізації композиційного В-плану для виготовлення меблевих щитів із деревини бука. Так як дослідження базувалися на вивченні показника формостійкості в від залежності характеристик структурних компонентів – розмірних характеристик рейок, зокрема товщини та ширини, то було реалізовано В-план другого порядку (табл. 1). Підготовлені рейки із масиву бука різного поперечного перерізу, зокрема товщиною 24 мм, шириною ($B_{\text{шир}} = 36, 60, 84$ мм) та кутом нахилу річних шарів, A_n : тангентальний $0-30^\circ$; напіврадіальний $31-60^\circ$; радіальний $61-90^\circ$ склеювались крайками на гладку фугу, що і формувало різні конструкції клеєних щитів. Також було проведено додатковий дослід в центрі плану. Кількість дубльованих досліджень – 5. Всього, для реалізації експериментальних досліджень було виготовлено 9 видів меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) у відповідності з поперечними перерізами рейок (рис. 6).

Таблиця 1. Матриця планування В-плану для двох змінних факторів

№ досліду		Значення вхідних факторів у досліді			
		У натуральному позначенні		У кодованому позначенні	
		A_n	$B_{шир}$	x_1	x_2
План-2	1	(0-30)°	36	-1	-1
	2	(61-90)°	36	1	-1
	3	(0-30)°	84	-1	1
	4	(61-90)°	84	1	1
Зіркові точки	5	(0-30)°	60	-1	0
	6	(61-90)°	60	1	0
	7	(31-60)°	36	0	-1
	8	(31-60)°	84	0	1

Отримані показники відхилення від площинності порівнювались із допустимим значенням, зокрема де відхилення від площинності становлять 0,5 мм.

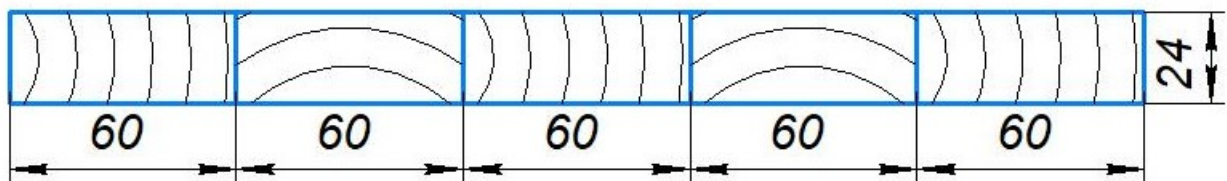


Рис. 6. Меблевий щит з перерізом рейки 60х24 мм із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)

Методика виготовлення меблевих щитів із деревини бука. Для виготовлення меблевих щитів були використані заготовки твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), шириною 40; 64; 88 мм, товщиною до проведення калібрувальних робіт 28 мм. Рейки підбирались та виготовлялись з врахування кутів нахилу річних кілець. Рейки сортувались на три групи : тангентальні (0-30°); напіврадіальні (31-60°); радіальні (61-90°). Повздовжнє фрезерування рейок ширинами 36; 60; 84 мм, довжиною 1000 мм та товщинами 26 мм проводилась на чотирибічному верстаті. Далше проводився підбір рейок згідно матриці В-плану для формування щитового пакету. Після склеювання і шестигодинної витримки технологічної витримки щити калібрували. Калібровані плити мали товщину 24 мм.

Виготовлення експериментальних меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) включає: чотирибічне фрезерування заготовок з отриманням в чистоті таких поперечних розмірів 26×36 мм, 26×60 мм, 26×84 мм; підбір рейок за шириною та за кутом нахилу річних кілець з почерговим укладанням, нанесення клею на краї рейок з витратою 170-190 г/м², склеювання (режимні параметри: температура – 88-92 °С, час витримки – 5-6 хв, тиск – 80-110 бар), технологічна витримка (вологість – 50±5 %, температура 20±2 °С) протягом 8 год (рис. 9). Здійснення калібрування до товщини 24 мм та розкрій поперек щита на довжину 500 мм.

Кінцевий етап виготовлення експериментальних меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) включає

наступні операції: обробка за контуром меблевого щита на розміри 490×490 мм, чистове шліфування поверхонь меблевого щита для проведення досліджень на формостійкість – визначення відхилень від площинності отриманих щитів.



*Рис. 9. Стопа некаліброваних меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) на стелажах технологічної витримки*

Методика визначення формостійкості експериментальних меблевих щитів із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.). Для визначення формостійкості використовувались меблеві щити із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) розміром 490×490×24 мм. Згідно вимог стандарту ДСТУ EN 13353:2009 «Щити дерев'яні. Вимоги» жолоблення – відхилення від площинності щитових поверхонь для плит середніх розмірів може бути не більшим 0,5 мм. Вимірювання проводили за допомогою експериментальної установки з ЧПК (рис. 10).



*Рис. 10. Установка з ЧПУ для визначення формостійкості МЩ із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) комбінованого укладання*

Значення числового індикатора ІГЦ (3)-25-0,01 зчитували за допомогою програмного забезпечення фірми «Мікротех» типу УІС-Р1-СОМ та передавали у середовище Microsoft Excel для оброблення. Покази знімали із зразків МЩ у двох

напрямках (напрямок вздовж волокон – напрямок А, вздовж довжини рейок МЩ; напрямок поперек волокон – напрямок Б, вздовж ширини МЩ). У кожному із напрямів Меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) вимірювання проводили за 12-ма умовними лініями, тобто всього 24 умовних ліній у двох взаємно перпендикулярних напрямках з кроком між лініями у 38 мм (рис. 11). Внаслідок вимірювань на кожній лінії фіксували від 420 до 450 точок.

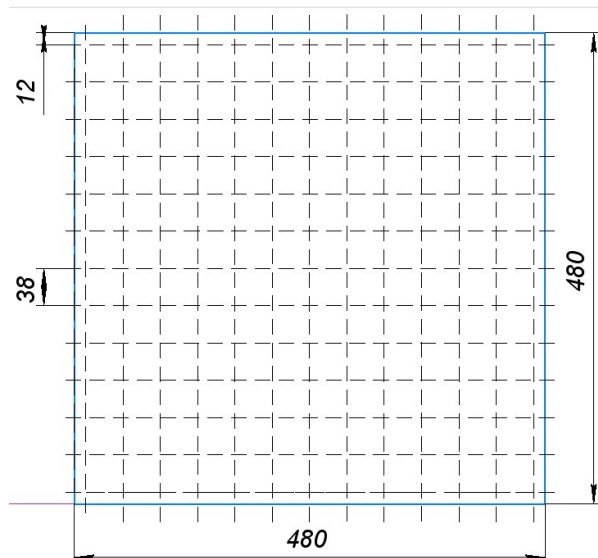


Рис. 11. Схема траєкторії руху числового індикатора на площині меблевого щита

Таким чином, за результатами одного вимірювання отримували вибірку сукупність обсягом від 9600 до 12000 ($24 \times (400 \dots 500)$). За проміжне значення стріли прогину приймали середнє значення цієї вибіркової сукупності.

Результати експериментальних досліджень. Статистичні показники формостійкості меблевих щитів із заготовок деревини бука звичайного від кута нахилу та ширини рейок. Результати експериментальних випробувань на вплив поперечних розмірів рейок на показники формостійкості меблевих щитів із заготовок деревини бука звичайного представлено у табл. 2.

Таблиця 2

Розрахунок середніх значень та дисперсії

№ досліджу	Результати y_{ij} відхилення від площинності для різних конструкцій меблевих щитів, мм					Середнє значення в j -ій вибірці	Дисперсія в j -ій вибірці
	y_{1j}	y_{2j}	y_{3j}	y_{4j}	y_{5j}		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	0,301	0,302	0,301	0,318	0,317	0,308	0,000079
2.	0,081	0,091	0,087	0,079	0,091	0,086	0,000031
3.	0,733	0,716	0,722	0,728	0,714	0,723	0,000064
4.	0,291	0,294	0,274	0,277	0,275	0,282	0,000091
5.	0,399	0,401	0,403	0,422	0,412	0,407	0,000091
6.	0,141	0,164	0,162	0,174	0,141	0,156	0,000218
7.	0,181	0,199	0,185	0,192	0,190	0,189	0,000047
8.	0,432	0,415	0,426	0,427	0,433	0,427	0,000051
Сума						2,58	0,000673

$$\text{Дисперсію відтворюваності: } S_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{N}; \quad (1)$$

Підставивши дані у формулу 4.6 отримаємо значення дисперсії відтворюваності:

$$S_y^2 = 0,000673/8=0,000084.$$

Отримані коефіцієнти та їх значимість. Для визначення коефіцієнтів рівняння було використано відомі методики статистичної обробки даних і розраховано коефіцієнти рівняння регресії (табл. 3).

Таблиця 3

Розрахунок коефіцієнтів регресії, перевірка на значущість коефіцієнтів рівняння регресії та визначення їх достовірних інтервалів

Коефіцієнт	Цифрова величина коефіцієнта	$t(q, f_y)$ $S\{b_i\}$	Висновок	Межі достовірного інтервалу	
				$b_i - t_{\text{табл}} S\{b_i\}$	$b_i + t_{\text{табл}} S\{b_i\}$
b_0	0,240	0,0094	знач.	0,231	0,250
b_1	-0,152	0,0034	знач.	-0,156	-0,149
b_2	0,141	0,0034	знач.	0,138	0,145
b_{11}	0,042	0,0072	знач.	0,034	0,049
b_{22}	0,068	0,0072	знач.	0,060	0,075
b_{12}	-0,055	0,0042	знач.	-0,059	-0,050

Розрахунок дисперсії адекватності за формулою:

$$\sum_{j=1}^8 (\bar{y}_j - y_j^p)^2 \quad (2)$$

Таблиця 4

Розрахунок дисперсії адекватності

№ досліджу	$\bar{y}_j$	y_j^p	$(\bar{y}_j - y_j^p)^2$
1	2	3	4
1.	0,308	0,306	0,000004
2.	0,086	0,111	0,000613
3.	0,723	0,698	0,000613
4.	0,282	0,284	0,000004
5.	0,407	0,434	0,000715
6.	0,156	0,130	0,000715
7.	0,189	0,167	0,000520
8.	0,427	0,449	0,000520
Сума			0,003704

$$\text{Дисперсію адекватності: } S_{ad}^2 = \frac{n}{f_{ad}} \sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - y_j^p)^2 \quad (3)$$

Підставивши дані у формулу 4.8 отримаємо значення дисперсії адекватності:

$$S_{ad}^2 = 5/(8-7) * 0,003704 = 0,018517667.$$

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_{розр.} = \frac{S_{більша}^2}{S_{менша}^2} = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} \quad (4)$$

Підставивши дані у формулу 4.9 отримаємо розрахункове значення критерію Фішера $F_{розр}$:

$$F_{розр} = 0,018517667 / 0,000084 = 220,25.$$

Табличне значення критерію Фішера $F_{табл.}$, яке залежить від рівня значимості $q=5\%$, числа ступенів вільності дисперсії адекватності $f_{ad}=8-7=1$ та числа належних оцінок дисперсії відтворюваності $f_v=8*(5-1)=32$: $F_{табл}=250$.

Оскільки, $220,25 < 250$ ($F_{розр} < F_{табл}$), тоді регресійна модель адекватна.

Залежність показника формостійкості меблевих щитів із заготовок деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) від характеристик ламелі. За результатами оброблення даних експерименту отримано рівняння регресії другого порядку, яке описує залежність стріли прогину $S_{рн}$ від кутів нахилу річних кілець до пласті щита $A_n(x_1)$, та ширини рейок $B_{шир}(x_2)$.

Визначене рівняння регресії для нормалізованих значень змінних факторів експерименту має наступний вигляд:

$$y_{рн} = 0,240 - 0,152x_1 + 0,142x_2 + 0,042x_1^2 + 0,068x_2^2 - 0,055x_1x_2 \quad (5)$$

Рівняння регресії для величин стріл прогину в натуральних значеннях змінних факторів з врахуванням формул переведу: $x_1 = (A_n - 45)/30$; $x_2 = (B_{шир} - 60)/24$, записується:

$$S_{рн} = 0,42775 - 0,00477A_n - 0,00484B_{шир} + 0,000047 A_n^2 + 0,000118B_{шир}^2 - 0,000076 A_n B_{шир} \quad (6)$$

де: A_n – кут нахилу річних шарів в рейках (x_1 : 15 – тангентальний 0-30°; 45 – напіврадіальний 31-60°; 75 – радіальний 61-90°); $B_{шир}$ – ширина ламелі (рейки) з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) розмірами 36, 60, 84 мм;; $S_{рн}$ – усереднене відхилення від площинності, тобто стріла прогину.

За результатами аналізу отриманого рівняння регресії робимо висновки про те, що кут нахилу річних шарів в рейках та ширина рейок в конструкції меблевих щитів суттєво впливає на формостійкість конструкції. Обидва змінних фактори впливають по-різному: збільшення кута – зменшує стрілу прогину, ширина – прямопропорційно, тобто збільшує стрілу прогину із зростанням ширини. Найбільше на формостійкість меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з почерговим укладанням впливає перший фактор $A_n(x_1)$ – кут нахилу річних шарів в рейках. Графічна інтерпретація залежності представлена на рис. 12 та 13.

Як видно з рис. 12, збільшення кута нахилу річних шарів в рейках з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $A_n(x_1)$ МЩ призводить до суттєвого зменшення стріли прогину $S_{рн}$, мм. Зменшення кута нахилу річних шарів від 90° до 45° суттєво впливає на стрілу прогину (50,68 %), а подальше зменшення кута нахилу від 45° до 0° характеризується більшою динамікою показника (83,57 %), меблевого щита, зокрема для ширини рейок 36 мм. Тобто, вплив кута нахилу річних шарів

на прогин меблевого щита з масивної деревини характеризується різким збільшенням прогину за зменшення кута нахилу від 45° до 0° і дещо меншим збільшенням прогину для кута нахилу від 45° до 90° .

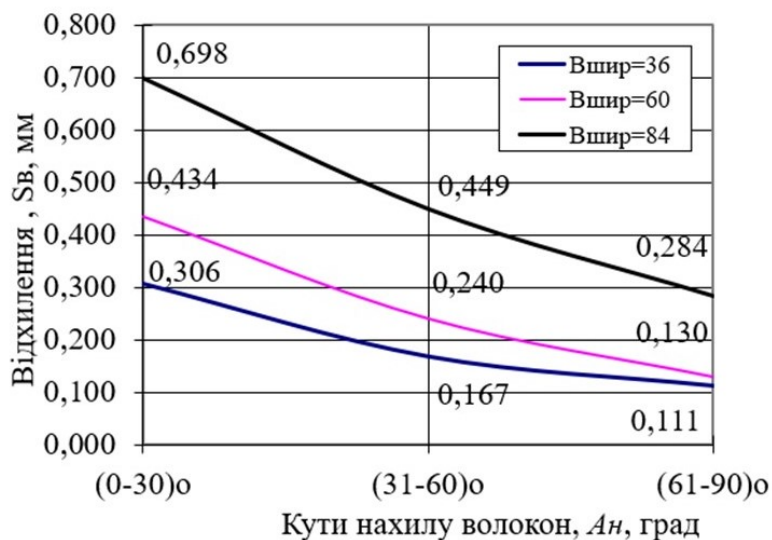


Рис. 12. Залежність усередненого відхилення S_{pn} (від площинності) меблевого щита від кута нахилу річних шарів в рейках A_n (x_1)

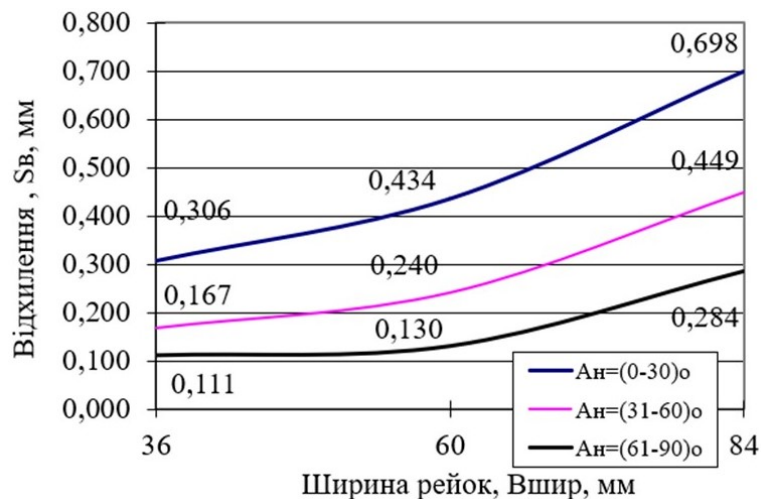


Рис. 13. Залежність усередненого відхилення S_{pn} (від площинності) меблевого щита від ширини ламелі (рейки) з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $V_{шир}$ (x_2)

Натомість, тенденція щодо залежності впливу ширини рейки з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $V_{шир}$ (x_2) на стрілу прогину S_{pn} , мм меблевого щита від площинності є менш суттєвою (рис. 13). З графіка видно, що збільшення ширини заготовки від 36 до 60 мм призводить до зростання стріли прогину меблевого щита, зокрема для кутів нахилу волокон 61-90° на 14,73%, для кутів нахилу волокон 31-60° на 30,67%, для кутів нахилу волокон 0-30° на 29,55%. А в діапазоні зміни ширини заготовок від 60 до 84 мм зростання стріли прогину після всихання меблевого щита, зокрема для кутів нахилу волокон 61-90° становить 54,37%; для кутів нахилу волокон 31-60° на 46,53%; для кутів нахилу волокон 0-30° на 37,79%. За результатами проведених розрахунків робимо висновок про те, що вплив ширини заготовок на прогин меблевого щита не є таким яскраво вираженим – він практично відсутній для заготовок шириною від 36 до 60 мм (для різних кутів) і становить в середньому 15-30 % зростання, а на проміжку від 60 до 84 мм – середнє зростання становить в діапазоні 38-55 %.

Результати порівняльного аналізу показників формостійкості меблевих щитів із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різних конструкцій. В результаті проведення основного експерименту були отримані дані формостійкості із рейок однакової ширини 60 мм для різних товщин (табл. 5).

Як видно з гістограми рис. 14 найкращу формостійкість мають МЩ з напіврадіальними кутами при ширині 36 мм, де відхилення від площинності становить: 0,167 мм., при ширині 60 мм - мають також нижче від нормативного відхилення від площинності, яке становить 0,240 мм, а при ширині 84 мм - мають також нижче від нормативного відхилення від площинності, яке становить 0,449 мм.

Таблиця 5 Результати трьох вимірювань величин стріл прогину меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) для рейок однакової ширини

Конструкції МЩ	Розрахунок	Норма	% норми	Норма	% норми
МЩ, 36 мм (31-60)о	0,167	0,5	33	0,4	42
МЩ, 60 мм (31-60)о	0,240	0,5	48	0,4	60
МЩ, 84 мм (31-60)о	0,449	0,5	90	0,4	112

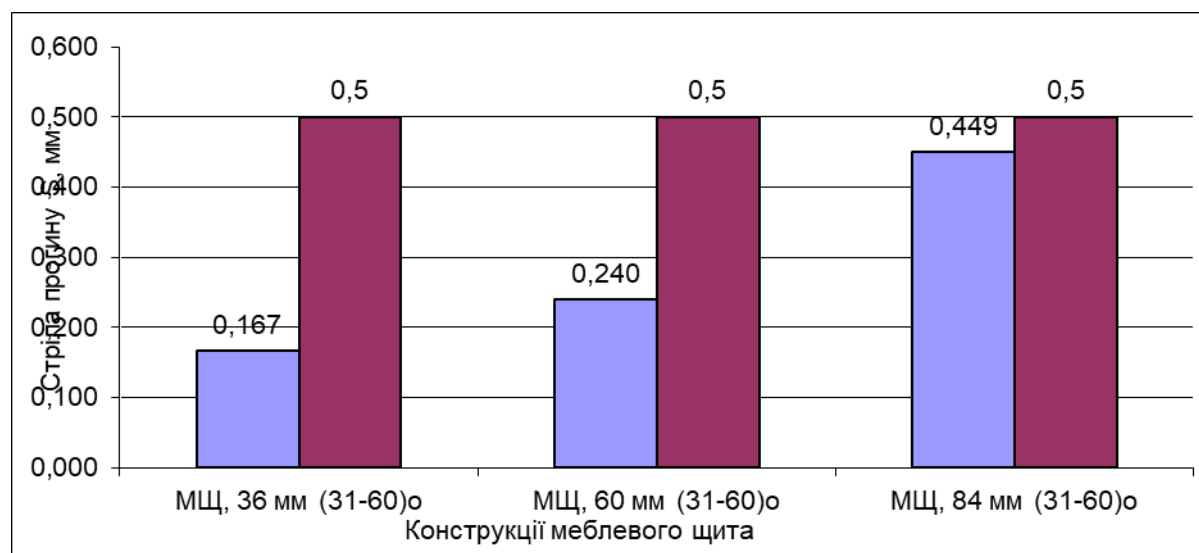


Рис. 14. Гістограма формостійкості $S_{рн}$ МЩ із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різних конструкцій

Зміна площинності $S_{рн}$ МЩ із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різних конструкцій після трьох разового вимірювання представлена у табл. 6.

Найбільшої зміни (9 %) в площинності зазнали МЩ із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з шириною рейки 84 мм після другого вимірювання, але і найбільшої – після третього вимірювання – де показник показав зміну 4,3 %. Діапазон інших змін становив 2,7-3,8 %, що в межах допустимого. За абсолютними значеннями всі МЩ відповідають вимогам стандарту, тобто мають відхилення менше, ніж 0,5 мм для ширини експериментальних плит 490 мм (рис. 15).

Таблиця 6.

Результати трьох вимірювань величин стріл прогину $S_{рн}$ МЩ з різною шириною рейок

Конструкції МЩ різної ширини	1 вимір.	2 вимір.	3 вимір.	Норма	% зміни 1	% зміни 2
МЩ, 36 мм (31-60)о	0,167	0,177	0,182	0,3	5,9	2,7
МЩ, 60 мм (31-60)о	0,240	0,261	0,271	0,3	8,0	3,8
МЩ, 84 мм (31-60)о	0,449	0,494	0,516	0,3	9,0	4,3

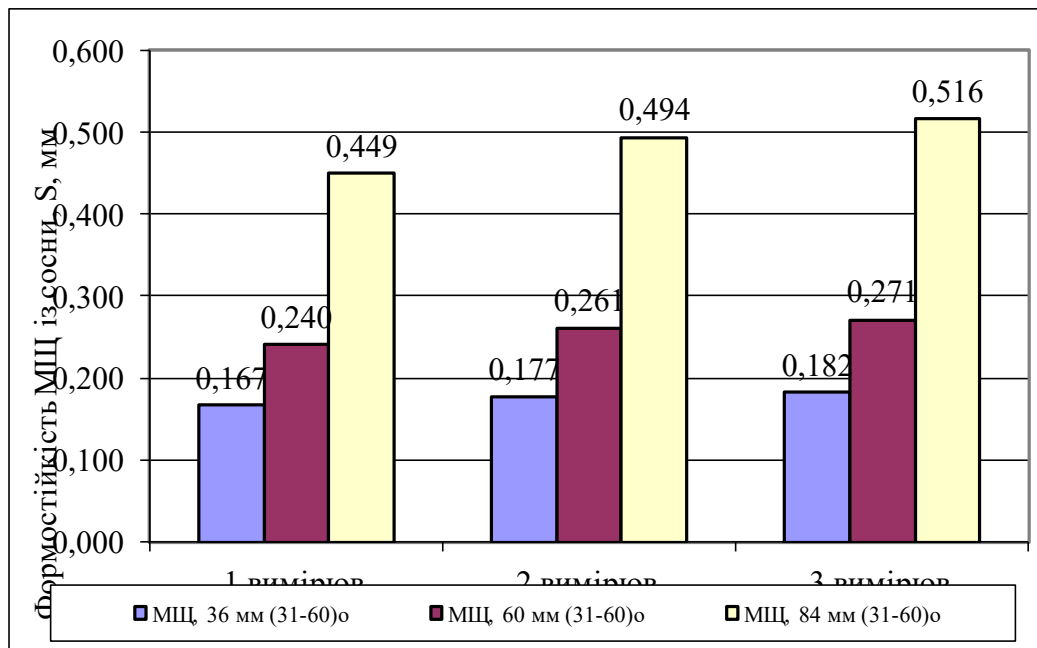


Рис. 15. Гістограма формостійкості S_{pn} меблевих щитів із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) для рейок різної ширини після трьох вимірювань

Оптимізація математичних моделей щодо впливу змінних факторів на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій. Оптимізацію отриманих математичних моделей проведено з використанням компютера. У стандартній програмі "Microsoft Excel" з пакету прикладних програм "Microsoft Office" за допомогою процедури "Пошуку рішень" визначили оптимальні значення ширини заготовки і кути нахилу річних шарів. При цьому обмежились величиною прогину меблевих щитів $f_{max} \leq 0,5$ мм згідно з вимогами стандартів ДСТУ EN 13353:2009 «Щити дерев'яні. Вимоги».

За результатами експерименту здійснено оптимізацію товщини та ширини рейок за допомогою градієнтного методу, внаслідок якої виявлено, що мінімальне значення відхилення $S_{pn,min} = 0,111$ мм, взяте за абсолютною величиною можна отримати зафіксувавши розмірні параметри рейок МЦ комбінованого укладання: кут нахилу річних шарів в рейках $A_n(x_1) = \text{радіальний } 60-90$; ширина ламелі (рейки) з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $B_{шир}(x_2) = 36$ мм (рис. 16).

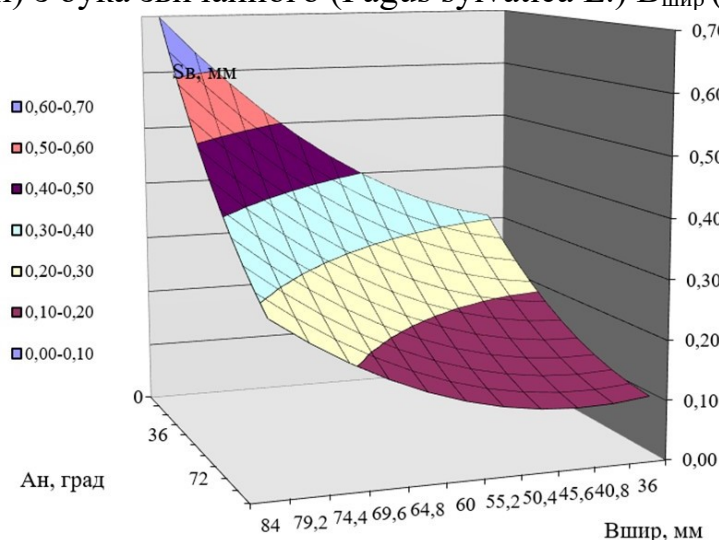


Рис. 16. Залежність середнього відхилення S_{pn} (від площинності) меблевого щита від товщини та ширини рейки з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)

Отримані результати наведено у табл. 7

Результати покрокової оптимізації з дотриманням обмеження наступні: **Мінімальний кут нахилу річних шарів рейки з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $A_n(x_1) = 36^\circ$ при ширині рейки з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $B_{шир}(x_2) = 84$ мм; Отримаємо співвідно-**

шення: **1 :3,5** , **Максимальна ширина ламелі (рейки)** з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $B_{\text{шир}} (x_2) = 67,2$ мм при товщині 24 мм для тангентальних ламелей. Отримаємо співвідношення: **1 :2,8** . Отримання співвідношення сторін перерізів ламелей, тобто ширини до товщини лягли в основу формування практичних рекомендацій для використання у виробничих умовах.

Таблиця 7. Результати оптимізації математичних моделей

Товщина, мм	Кут нахилу, град	Ширина, мм	Співвідношення, Т : Ш	Допуск на прогин, мм
24	> 0	67,2	2,8	0,5
24	> 4,5	69,6	2,9	0,5
24	> 9	72	3	0,5
24	> 13,5	74,4	3,1	0,5
24	> 18	76,8	3,2	0,5
24	> 25	79,2	3,3	0,5
24	> 31,5	81,6	3,4	0,5
24	> 36	84	3,5	0,5

Загальні практичні рекомендації щодо рекомендованих співвідношень перерізів рейок в конструкціях меблевих щитів подані у табл. 8.

Таблиця 8. Рекомендовані співвідношення товщини до ширини

Параметри впливу	Зміна	Практичні рекомендації			
	+ / -	Співвідношення товщини до ширини			
		Сосна		Бук	
Вплив кута нахилу річних кілець до пластів щита:	Покращення	1:2,6	1:4,0	1:3,1	1:3,9
тангентальний 0-30°		1:2,6		1:3,1	
напіврадіальний 31-60°		1:3,2		1:3,5	
радіальний 61-90°		1:4,0		1:3,9	
З'єднання (моноліт / зрощення)	Покращення	1:2,5	1:3,5	1:3,0	1:3,8
Укладання (випадкове / ритмічне)	Покращення	1:2,0	1:4,0	1:2,0	1:3,5

Встановлення закономірностей впливу змінних факторів на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій. З'ясовано, що товщина, ширина та кути нахилу річних кілець до пластів, що виражаються через співвідношення товщини до ширини та через укладання тангентальних, напіврадіальних та радіальних ламелей по різному впливають на величину стріли прогину меблевих щитів із деревини бука.

Закономірності впливу ширини та кутів нахилу річних кілець до пластів на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій:

1. Визначено, що кут нахилу річних шарів в рейках та ширина рейок в конструкції меблевих щитів суттєво впливає на формостійкість конструкції. Обидва змінних фактори впливають по різному: збільшення кута – зменшує стрілу прогину, ширина – прямопропорційно, тобто збільшує стрілу прогину із зростанням ширини. Найбільше на формостійкість меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з почерговим укладанням впливає перший фактор $A_n (x_1)$ – кут нахилу річних шарів в рейках. Отримано регресійну залежність для прогнозування формостійкості меблевих щитів, в яких рейки із масиву бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різного поперечного перерізу, зокрема товщиною 24 мм, шириною ($B_{\text{шир}} = 36, 60, 84$ мм) та кутом нахилу річних шарів, A_n : тангентальний 0-30°; напіврадіальний 31-60°; радіальний 61-90°. Результати цього дослідження дали змогу отримати рівняння регресії для визначення стріли прогину меблевих щитів $S_{\text{пр}}$, залежно від змінних чинників – кута нахилу річних шарів (X_1, A_n) та ширини заготовок ($X_2, B_{\text{шир}}$) та. Обидва змінних фактори впливають по різному: збільшення кута – зменшує стрілу прогину, ширина – прямопро-

порційно, тобто збільшує стрілу прогину із зростанням ширини. Найбільше на формостійкість меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з почерговим укладанням впливає перший фактор $A_n(x_1)$ – кут нахилу річних шарів в рейках. Встановлено, що вплив другого фактору $B_{шир}(x_2)$ на S_{pn} у порівнянні з першим $A_n(x_1)$ є в 2,4 рази меншим. Виявлено, що збільшення ширини від 36 до 84 мм призводить збільшення величини стріли прогину на 128,17-169,75 % для різних кутів, а збільшення кутів нахилу від 0 до 90 градусів призводить також зменшення на 145,57-234,81 % для різних ширин. З'ясовано, що збільшення кута нахилу річних шарів в рейках з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $A_n(x_1)$ МІЦ призводить до суттєвого зменшення *стріли прогину* S_{pn} , мм. Зменшення кута нахилу річних шарів від 90° до 45° суттєво впливає на *стрілу прогину* (50,68 %), а подальше зменшення кута нахилу від 45° до 0° характеризується більшою динамікою показника (83,57 %), меблевого щита, зокрема для ширини рейок 36 мм. Тобто, вплив кута нахилу річних шарів на прогин меблевого щита з масивної деревини характеризується різким збільшенням прогину за зменшення кута нахилу від 45° до 0° і дещо меншим збільшенням прогину для кута нахилу від 45° до 90°. Встановлено, що збільшення ширини заготовки від 36 до 60 мм призводить до зростання *стріли прогину* меблевого щита, зокрема для кутів нахилу волокон 61-90° на 14,73%, для кутів нахилу волокон 31-60° на 30,67%, для кутів нахилу волокон 0-30° на 29,55%. А в діапазоні зміни ширини заготовок від 60 до 84 мм зростання *стріли прогину* після всихання меблевого щита, зокрема для кутів нахилу волокон 61-90° становить 54,37%; для кутів нахилу волокон 31-60° на 46,53%; для кутів нахилу волокон 0-30° на 37,79%. За результатами проведених розрахунків робимо висновок про те, що вплив ширини заготовок на прогин меблевого щита не є таким яскраво вираженим – він практично відсутній для заготовок шириною від 36 до 60 мм (для різних кутів нахилу річних шарів) і становить в середньому 15-30 % зростання, а на проміжку від 60 до 84 мм – середнє зростання становить в діапазоні 38-55 %.

References

1. Bykovsky V.N. , Sokolovsky B.S. (1949) *Derevyannye kleenye konstruksyy* [Wooden glued constructions. – Mashstroyizdat Publishing House, 151-153. (in Russian).
2. Denysyuk V.A., Kushpit A.S., Kushpit O.M. (2018) *Analiz vplyvu vydu z'yednan' za shyrynoyu na formostiyst' meblevykh shchytiv* [Analysis of the influence of the type of joints by width on the dimensional stability of furniture boards] / Comprehensive quality assurance of technological processes and systems: theses materials, add. VIII International science – practice conf. (Chernihiv, May 10-12, 2018) . – Chernihiv. Vol. 1:209-210. (in Ukrainian).
3. DSTU EN 13353:2009 – Solid wood panels (SWP) – Requirements, 13 p.
4. Gayda S.V. (2007). A problem of arboreal raw material is in Europe and Ukraine. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 33:60-63 (in Ukrainian).
5. Gayda S.V. (2010). A comparative analysis of physical and mechanical parameters of variously designed glued boards made of post-consumer recovered wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 36:81-91.
6. 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.
7. Gayda S.V. (2012). Production techniques and properties of fuel pellets produced from post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 38: 112-150.
8. Gayda S.V. (2013). 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).
9. 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.
10. Gayda S.V. (2013). 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).

11. **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.
12. **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).
13. **Gayda S.V.** (2014). Techniques for recycled of post-consumer wood in the production of quality particleboard. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 40:41-51.
14. **Gayda S.V.** (2014). *Teoreticheskoye obosnovaniye podkhoda po prognozirovaniyu prochnosti drevesnostruzhechnykh плит iz vtorichno ispol'zuyemoy drevesiny* [The theoretical rationale for the approach on the prediction the strength of particleboard from recycled wood]. *Actual problems of forest complex* 38:212-216 (in Russian).
15. **Gayda S.V.** (2015). Investigation of physical and mechanical properties of post-consumer wood (PCW). *Actual problems of forest complex* 43:175-179 (in Russian).
16. **Gayda S.V.** (2018). Strength of combined blockboard made of post-consumer wood (PCW). *Bulletin of KhNTUA* 197:3-9, (in Ukrainian).
17. **Gayda S.V.** (2016). A investigation of form of stability of variously designed blockboards made of post-consumer wood. *ProLigno* 12(1):22-31.
18. **Gayda S.V.** (2016). *Ekologo-tehnologicheskiye aspekty pererabotki vtorichno ispol'zuyemoy drevesiny dlya proizvodstva pressovannykh materialov* [Ecological and technological aspects of recycling post-consumer wood for production compacted materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry bulletin of MSFU* 20(3):15-22 (in Russian).
19. **Gayda S.V.** (2017). Using fuzzy expert systems for decision support in the process of post-consumer wood sorting. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 43, 5-20. <https://doi.org/10.36930/42174301> (in Ukrainian).
20. **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.
21. **Gayda S.V.** (2016). Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом / *Tekhnologichni pidkhody do poverkhnevoho ochyshchennya vzhivanoyi derevyyny holkofrezernym instrumentom* [Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools]. *Bulletin of KhNTUA* 178:3-11(in Ukrainian).
22. **Gayda S.V.** (2017). A technology and properties of furniture board (FB) made of post-consumer wood (PCW). *Actual problems of forest complex* 48:34-38 (in Russian).
23. **Gayda S.V.** (2017). Комплексні дослідження зміни пружних властивостей вживаної деревини ялиці з віком / *Kompleksni doslidzhennya zminy pruzhnykh vlastyvostey vzhivanoyi derevyyny 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>
24. **Gayda S.V.** (2018). *Doslidzhennya ta analiz kharakterystyk shchytovykh konstruktsiy iz vzhivanoyi derevyyny* [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).
25. **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).
26. **Gayda S.V.** (2020). Аналіз конструкцій та технологій виготовлення сучасних меблевих фасадів / *Analiz konstruktsiy ta tekhnolohiy vyhotovlennya suchasnykh meblevykh fasadiv* [Analysis of structures and technologies of manufacture of modern furniture facades]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 46:54-64, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204606>
27. **Gayda S.V., & Maksymiv, V.M.** (2007). Analysis, features, problems and experience of the use of additional resources of raw material – wastes and of used wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 33:63-73 (in Ukrainian).
28. **Gayda S.V., & Voronovich V.V.** (2011). Comparative analysis of bending particularities for various post-consumer wood species and age categories. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 37(1). 84-88 (in Ukrainian).
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., 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).

31. **Gayda S.V., Ilkiv M.M., Savka D.B.** (2021). Дослідження технологічних процесів виготовлення меблевих фасадів з масивної деревини // *Doslidzhennya tekhnologichnykh protsesiv vyhotovlennya meblevykh fasadiv z masyvnoyi derevyiny*. [Research of technological processes of manufacture of meble facades from solid wood]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 47:22-33, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42214703>
32. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2020). 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212484>
33. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2020). The investigation of properties of blockboards made of post-consumer wood. Poznan: Drewno, 63(206). 77-102. doi: <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.352.10>
34. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2021). Властивості вживаної деревини як визначальний чинник якості меблевих виробів / *Vlastyvosti vzhyyanoyi derevyiny yak vyznachal'nyy chynnyk yakosti meblevykh vyrobiv* [Properties of used wood as a determining factor in the quality of furniture products]. Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine 23:152-162 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/412135>
35. **Gayda S.V., Kiyko O.A., Guz M.M.** (2022). Research of the structure of stump and rootwood for effective use in the production of wood products. Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry, 64 (3):131–142, doi: <https://doi.org/10.2478/ffp-2022-0011>
36. **Gayda S.V., Petryshak I.V., Humeniuk Zh.Ya.** (2021). *Vyznachennya vplyvu porody ta rezhymiv shlifuvannya na shorstkist' poverkhni derevyiny* [Determination of the influence of rock and grinding modes on the surface roughness of wood]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 47:5-15 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42214701>.
37. **Gayda S.V., Salapak L.V., Lesiv L.E.** (2021). *Vyznachennya efektyvnoho tekhnologichnoho protsesu vyhotovlennya riznykh opornykh elementiv dlya funktsional'nykh ploshchyn*. [Determination of an efficient technological process of manufacturing various support elements for functional surfaces]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 47: 58-72, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42214708>
38. **Gayda S.V., Voytovych I.G.** (2017). Durability and stability of elements for beam furniture products made from post-consumer wood are investigated. Bulletin of KhNTUA, 189, 62-70 (in Ukrainian).
39. **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>
40. **GOST 16483.3:1984.** *Drevesina. Metod opredeleniya predela prochnosti pri staticheskom izgibe* [Wood. Method for determining the strength of static bending]. Moscow: Publishing house of standards, (in Russian), 1984. – 7 p.
41. **Kiyko I.O.** (2013) Possibilities of the woodworking industry's wastes using for manufacturing of the furniture boards with improved aesthetic properties . Technical University in Zvolen (Slovakia). Proceedings of the XXI symposium. Vydavatelstvo TU Zvolen, 107-112.
42. **Kiyko, I.O** (2014) *Vplyv rozmiriv strukturnykh elementiv kleyenykh shchytiv na yikh formostykykist'*. [The impact of the structural element sizes on the furniture board form stability]. Collection Bulletin UNFU, Lviv. Vol. 24(5).169-175 (in Ukrainian).
43. **Kovalchuk L.M.** (1973) *Tekhnolohyya skleyvannya* [Technology of gluing]. – Forest industry, 208. (in Russian).
44. **Kryshtapovych, V. I., Sokolovskyy, Ya. I.** (2017). The Rheological Model of Limited Creep of Wood. Scientific Bulletin of UNFU, 27(3), 182–186. Retrieved from: <http://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/378>. DOI: <https://doi.org/10.15421/40270341> .
45. **Kryvyk, O.O., & Mayevskyy, V.O** (2011) *Dynamika zminy formostykykosti shchytiv kleyenykh z poyednannyyam riznykh porid de- revyny* [Dynamics of shape stability change for glued panels with a combination of different wood species]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry, Lviv. Vol. 37(1):30-33 (in Ukrainian).
46. **Mayevskyy, V.O, & Benyah, Yu.V.** (2005). Investigations of stability of shape of Composite boards from oak solid. Collection Bulletin UNFU, Lviv. Vol. 15(5):199-208 (in Ukrainian).
47. **Pardaev, A.S** (2008). *Modelyuvannya fizyko-mekhanichnykh vlastyvyostey derevyiny pry zvychno- elementnomu analizi stolyarnykh vyrobiv* [Modeling of physical and mechanical properties of wood during conventional elemental analysis of carpentry]. Collection Bulletin USTU, Ekaterinburg. Vol. 3:77-83 (in Russian).
48. **Pardaev, A.S** (2009). *Otsinka yakisnykh pokaznykiv deformatyvnosti vyrobiv z derevyiny na osnovi modelyuvannya navantazhen' i vplyviv* [Increased form stability glued board of wood based on process modeling shrinkage and swelling]. Architecture and Construction, Minsk. Vol. 3(202):41-44 (in Russian).
49. **Podibka T.I.** (2018). *Konstruktsiyi ta tekhnologichni aspekty meblevykh shchytiv v normatyvnykh dokumentakh* [Constructions and technological aspects of furniture panels in regulatory documents] // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 44: 83-90. doi: <https://doi.org/10.36930/42184411>

50. Podibka T.I. (2020). *Doslidzhennya formostiystosti meblevykh shchytiv iz derevyny sosny riznykh konstruktsiy* [A investigation of form of stability of variously designed furniture board made of pine wood of different constructions]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 46:108-121 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204613>
51. Podibka T.I., Kiyko O.A. (2019). *Doslidzhennya vplyvu poperechnykh rozmiriv bukovykh reyok na formostiyst' meblevykh shchytiv* [A study of the influence of the transverse dimensions of beech of strips on the form of stability of furniture board]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 45: 155-171. doi: <https://doi.org/10.36930/42194521>
52. Popov H.A. (1972) *Skleyvanye drevesyny (proyzzvodstvo kleenykh zahotovok)* [Wood gluing (production of glued blanks)], 33. (in Russian).
53. Sofia Holovata, Yaroslav Sokolovskyy, Bohdan Pobereyko, Andriy Holovatyy. (2021). Mathematical Modeling of Boundary Stress State of Orthotropic Material. Materials Science and Engineering (MSE), Volume 1016, 012001, DOI <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1016/1/012001>.
54. Sokolovskyy Y., M. Levkovich, O. Mokrytska, Y. Kaspryshyn and N. Yavorska. (2020). "Investigation on the Processes of Deformation, Heat- and-Moisture Transfer in Media with the Properties of the Effects of "Memory" and Self-Similarity," 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, Ukraine, pp. 382-385, doi: <https://doi.org/10.1109/DSMP47368.2020.9204137>.
55. Volynsky V.N. (2003). *Tekhnolohyya kleenykh materyalov* [Technology of glued materials], 280. (in Russian).
56. Voytovych I.G. (2010). *Osnovi tekhnologii virobiv z derevini* [The basic technology of wood]. – Textbook. –Lviv: Kraine andeljat. – 304 p. (in Ukrainian).

UDC 684.41

Postgraduate student T.I. Podibka – UNFU

Determination of the regulations of the influence of the characteristics of the rails on the form resistance of furniture panels made of beech wood of different constructions

A regression relationship was obtained for predicting the dimensional stability of furniture panels, in which slats made of solid beech of different cross-sections, in particular 24 mm thick, wide ($B_{width} = 36, 60, 84$ mm) and the angle of inclination of the annual layers, A_{angle} : tangential 0-30°; semi-radial 31-60°; radial 61-90°. The results of this study made it possible to obtain a regression equation for determining the arrow of the deflection of furniture panels S_{pn} , depending on the variable factors - the angle of inclination of the annual layers (x_1, A_{angle}) and the width of the blanks (x_2, B_{width}). Both variable factors affect in different ways: an increase in the angle reduces the deflection beam, the width is directly proportional, that is, it increases the deflection beam with an increase in width. The first factor A_{angle} (x_1) - the angle of inclination of the annual layers in the slats - has the greatest effect on the dimensional stability of furniture boards made of hardwood species, in particular common beech with alternating stacking. It was established that the influence of the second factor B_{width} (x_2) on S_{pn} compared to the first factor A_{angle} (x_1) is 2.4 times smaller. It was found that an increase in width from 36 to 84 mm leads to an increase in the value of the deflection arrow by 128.17-169.75% for various angles, and an increase in the angles of inclination from 0 to 90 degrees also leads to a decrease by 145.57-234.81% for different widths. According to the results of experimental studies, it was found that an increase in the width of the rails from 1:1 to 1:3.5 (thickness - width ratio) leads to an increase in the deviation from flatness (by 128.17-169.75%); increasing the angle of inclination of the annual rings to the shield layer from 0 to 90° leads to an improvement in dimensional stability (by 145.57-234.81%).

Keywords: forest or European beech (*Fagus sylvatica* L.), furniture board, technology, furniture board designs, form of stability, humidity, temperature, swelling, drying, stress, deformation, orthotropic materials, polyvinyl acetate adhesives, adhesive wooden joint, strength.