

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕЗДЕФЕКТНИХ ВІДРІЗКІВ ДЛЯ ФОРМОСТІЙКИХ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ

Розроблено математичну модель розрахунку економічної ефективності $EE_{мщ}$ процесу одержання ламелей із монолітних та зрощених ламелей із бездефектних відрізків залишків деревини (ЗД) та первинної деревини (ПД) для меблевих щитів заданої формостійкості, використання якої дасть можливість прогнозувати перспективи розвитку підприємства, ефективно та швидко визначити кошторис виробничої собівартості меблевих щитів з бездефектних ділянок соснових та букових ламелей. Розраховано, що підсумкова $EE_{мщ}$ використання ЗД категорії ЗД-0 у порівнянні із ПД I сорту для виготовлення якісних заготовок із деревини бука становить 207,44 %, а із деревини сосни 184,921 % і стимулює до впровадження ресурсощадних технологій з виробництва, зокрема меблевих щитів. Встановлено, що, як демонструють результати порівняльних досліджень з визначення кошторису виробничої собівартості традиційних МЩ із ПД та МЩ із ЗД, при застосуванні ЗД можливо одержати фінансову та еколого-економічну вигоду. Основна вигода виробника полягає у зменшенні матеріальних витрат на виготовлення МЩ із ЗД у порівнянні з традиційними МЩ із ПД. Так, при конструкціях меблевих щитів 50 % із ПД та 50% із ЗД дохід від продажу меблевих щитів для обсягів 257,91 тис. м³ для сосни та 32,73 тис. м³ для бука складе: сосна звичайна – 5841,49 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 1018,74. млн.грн, а відповідно – заощадження складуть 1741,00 млн.грн; та 356,00 млн. грн. А конструкцій меблевих щитів 100% із ЗД дохід від продажу меблевих щитів для даних обсягів складе: сосна звичайна – 4100,49 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 662,73 млн.грн, а відповідно – заощадження складуть 3482,00 млн.грн; та 712,00 млн. грн. Таким чином, розрахунки демонструють, що здешевлення МЩ із ЗД складає від 22,96 % до 25,89 % при конструкції 50%/50%, від 45,92 % до 51,79 % при 100% використанні ЗД. Розраховано, що при конструкціях меблевих щитів 50 % із ПД та 50% із ЗД вартість 1 м² складе: сосна звичайна – 539,27 грн; бук звичайний (лісовий) – 741,04 грн; при конструкціях меблевих щитів 100% із ЗД вартість 1 м² складе: сосна звичайна – 321,45 грн; бук звичайний (лісовий) – 517,93 грн.

Ключові слова: меблевий щит, сосна звичайна (*Pinus sylvestris*), бук звичайний (*Fagus sylvatica* L.), математична модель, рейка, ламель, фізико-механічні властивості, характеристики, моделювання, формостійкість, стріла прогину, деформативність, технології, склеювання, зрощування, укладання.

Актуальність. Одними з поширених конструкційних елементів для виробництва різноманітних виробів з деревини є клеєні конструкції, зокрема одношарові щитові [1-25]. Такі клеєні конструкції здебільшого виготовляють з склеюванням рейок деревини на гладку фугу [1, 5, 8, 9, 21-25] або ж при личкуванні пластей щити переходять в категорію столярних плит [2-4, 6, 7, 11, 16, 18]. Однією з основних визначальних характеристик клеєних щитів, окрім естетичності та економічності, є відповідність певним технологічним параметрам, визначальним з яких є формостійкість. Формостійкість клеєних щитів (меблевих щитів, столярних плит) здебільшого характеризують показниками прямолінійності, площинності та величиною всихання і розбухання, які залежать від впливу експлуатаційних факторів та постійних пружності : модулів пружності, модулів зсуву та коефіцієнтів

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>

поперечної деформації певної породи деревини, як первинної так і вторинної, використаної для виготовлення конструкційного щитового матеріалу.

Гранично допустимі значення відхилень наведених показників (прямолінійність, площинність, всихання та розбухання) регламентуються чинними нормативними документами, зокрема ДСТУ EN 13353:2009. Формостійкість клеєних щитів із первинної деревини із вживаної деревини [10-14, 17-20], із залишків деревини (ЗД), давно зацікавлює науковців та викликає інтерес у виробничників, оскільки додаткові деревинні ресурси безперечно впливають на економічну ефективність. У відповідності до сучасної тенденції використання залишків деревини, поводження із цим додатковим резервом сировини повинно базуватись на загальних нормативно-технічних та еколого-економічних стандартах. При значному потенціалі ЗД, а також вживаної деревини в Україні цей не завжди задіяний деревинний матеріал може за матеріального використання приносити як економічну, так і екологічну вигоди [6, 13-20].

Розроблення математичної моделі економічної ефективності одержання бездефектних відрізків із різної сировини. Розроблення моделі розрахунку економічної ефективності меблевого щита ($EE_{мщ}$) процесу виготовлення заготовок для ламелей базується на врахуванні всіх затрат, що виникають під час перероблення ЗД на специфікаційні заготовки монолітні чи для процесу зрощування.

Проведено детальний аналіз вартості кожної операції, що супроводжує технологічний процес виготовлення розмірно-придатних рейок – монолітних або зрощених ламелей. Показниками цін за 1 м³ на кожному етапі розрахунку економічної ефективності стали: ціна на місці утворення; ціна за збирання або заготівлю; ціна за перевезення; ціна за сортування; ціна за розкрій; ціна за сушіння.

Аналіз цін для ЗД та первинної деревини (ПД) за кожним показником став основою для розрахунку економічної доцільності перероблення ЗД, у тому числі і для кожного сорту залишків деревини.

Критерієм оптимізації вибрано показник економічної ефективності $EE_{мщ}$, який має бути максимальним при забезпеченні якості заготовок – дотриманні вимог до якості в процесі підготовки ламелей із ЗД до матеріального перероблення:

$$\begin{cases} EE_{мщ} = \sum_{i=1}^n e_i \rightarrow \max, \\ R_m \leq [R_m] \rightarrow \text{якісно підготовлена поверхня щита} \end{cases} \quad (1)$$

де: e_i – часткова EE на окремих технологічних процесах, які передбачають зменшення/збільшення грошових витрат, що пов'язано із матеріальними ресурсами, %; R_m – якісно підготовлена заготовка ЗД згідно з експериментом, мкм, $[R_m]$ – нормативне значення параметра шорсткості для ПД на етапі підготовки ЗД, мкм.

З врахуванням грошових витрат на кожному етапі перероблення ЗД для одержання якісних заготовок $EE_{мщ}$ досягається за рахунок низької ціни на ЗД, зменшення витрат на збирання та заготівлю, суттєвого скорочення часу на сушіння заготовок ЗД в порівнянні із заготовками із ПД (для різних порід від 14-18 до 4-6 днів), особливостей сортування та розкрою.

Загальний вигляд оптимізаційної моделі для розрахунку економічної ефективності $EE_{мщ}$ використання ЗД для отримання ламелей з метою склеювання у меблевий щит :

$$EE_{мщ} = \left[6 - \frac{B_{зду}}{B_{плд}} - \frac{B_{здз}}{B_{плз}} - \frac{B_{здп}}{B_{плп}} - \frac{B_{здс}}{B_{плс}} - \frac{B_{здр}}{B_{плр}} - \frac{B_{здв}}{B_{плв}} \right] \cdot 100 \%, \quad (2)$$

де, ціна: $V_{зду}$ – ЗД на місцях утворення, грн; $V_{здз}$ – ЗД на місцях збирання, грн; $V_{здп}$ – ЗД за перевезення до місць складування, грн; $V_{здс}$ – ЗД за сортування, грн; $V_{здр}$ – ЗД за розкрій, грн; $V_{здв}$ – ЗД за сушіння (висушування), грн; $V_{пду}$ – ЗД на місцях заготівлі, грн; $V_{пдз}$ – ціна ЗД на місцях збирання, грн; $V_{пдп}$ – ЗД за перевезення до місць складування, грн; $V_{пдс}$ – ЗД за сортування, грн; $V_{пдр}$ – ЗД за розкрій, грн; $V_{пдв}$ – ЗД за сушіння (висушування), грн.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності процесу виготовлення заготовок для ламелей меблевого щита, згідно з рекомендаціями експертів галузі та власних міркувань і обчислень, наведено у табл. 1.

Таблиця 1.

Затрати на технологічні операції виготовлення ламелей із ЗД та ПД, 10.08.23

ЗД-0	1600	400	125	75	960	620	840	3780	4000
ЗД-1	1000	400	125	100	1020	620	840	3265	3485
ЗД-2	800	400	125	125	1080	620	840	3150	3370
ЗД-3	600	400	125	150	1140	620	840	3035	3255
	$V_{зду}$	$V_{здз}$	$V_{здп}$	$V_{здс}$	$V_{здр}$	$V_{здв}$	$V_{здв}$	$V_{зд12}$	$V_{зд18}$
Дере- вина	Ціна на мі- сці	Ціна за збирання, заготівлю	Ціна за переве- зання	Ціна за сорту- вання	Ціна за розкрій	W=12	W=18	W=12	W=18
						Ціна за сушіння		Абсолютна вартість 1 м ³	
Бук	$V_{пду}$	$V_{пдз}$	$V_{пдп}$	$V_{пдс}$	$V_{пдр}$	$V_{пдв}$	$V_{пдв}$	$C_{пд60}$ (W=60 %)	
Сорт-А	6400	1000	250	60	800	2000	2200	10510	
Сорт-В	5440	1000	250	80	850	2000	2200	9620	
Сорт-С	5120	1000	250	100	900	2000	2200	9370	
Сорт-Д	4800	1000	250	120	950	2000	2200	9120	
Сосна	$V_{пду}$	$V_{пдз}$	$V_{пдп}$	$V_{пдс}$	$V_{пдр}$	$V_{пдв}$	$V_{пдв}$	$C_{пд60}$ (W=60 %)	
Сорт-А	5100	1000	250	60	750	1600	1800	8760	
Сорт-В	4335	1000	250	80	800	1600	1800	8065	
Сорт-С	4080	1000	250	100	850	1600	1800	7880	
Сорт-Д	3825	1000	250	120	900	1600	1800	7695	

Примітка: ЗД – залишки деревини, вологість визначали: ЗД основного виробництва – $W=12\pm 2$ %, ЗД відкритого, зовнішнього користування – $W=18\pm 2$ %, ПД свіжа – $W=60\pm 5$ %. Час сушіння становить 4-6 та 14-18 днів відповідно, що і вплинуло суттєво на затрати.

Результати розрахунків економічної ефективності процесу виготовлення заготовок для монолітних чи зрощених ламелей, відповідно до функції мети за допомогою процедури «Пошук рішень» програми Ексел, наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Показники економічної ефективності перероблення ЗД на ламелі

Категорія	МЩ із бука, %		МЩ із сосни, %	
	W=12, %	W=18, %	W=12, %	W=18, %
ЗД-0	207,44	200,26	184,92	177,00
ЗД-1	215,62	208,44	195,68	187,77
ЗД-2	218,38	211,19	199,58	191,67
ЗД-3	225,67	218,48	209,13	201,21

Із табл. 2 видно, що чим менша якість ЗД, тобто короткомірні розмірно-придатні відрізки деревини, зокрема для ЗД-3, тим більша економічна ефектив-

ність $EE_{мщ}$ використання ЗД для виготовлення заготовок (на 8,7 % для бука та 13,5 % для сосни, у порівнянні із ЗД-0). По-друге, чим більша вологість ЗД, тим більший час сушіння. Для традиційних меблевих щитів при збільшенні вологості ЗД-0 від 12 до 18 % економічна ефективність знижується на 3,5 %.

Аналіз показників економічної ефективності $EE_{мщ}$ перероблення ЗД на ламелі для меблевого щита показує, що найефективнішим, тобто оптимальним є варіант виготовлення меблевих щитів із зрощених бездефектних відрізків ЗД. Розроблена оптимізаційна модель для розрахунку економічної ефективності $EE_{мщ}$ перероблення ЗД на заготовки дає можливість швидко приймати рішення про найбільш вигідні варіанти використання ЗД певного сорту, виходячи з наявних на даний період часу ЗД на складі підприємства.

За допомогою оптимізаційної моделі можна визначити економічну ефективність $EE_{мщ}$ доцільності залучення для матеріального перероблення ЗД та дієздатності ресурсоощадної технології, зокрема при виробництві меблевих щитів різної конструкції. Відсоток ефективності залежить не тільки від кількості заготовок, що підлягають, наприклад, зрощенню, але і від кількості з'єднань в одиниці довжини ламелі. Аналогічно і визначають особливості під час розкрою ЗД на заготовки – бездефектні розмірно-придатні відрізки деревини.

Вплив складових математичної моделі та технологічних факторів на функцію відгуку. Оскільки загальна $EE_{мщ}$ складається з суми часткових економічних ефективностей e_i , то необхідно визначити вплив кожного з восьми доданків на загальний результат. Вплив кожного із них поданий на рис. 1. Як бачимо з рис. 1., запропонована технологія перероблення ЗД на заготовки дасть змогу значно зекономити первинну деревину, оскільки ЗД дешевша від ПД в діапазоні від 4,0 до 8,0 разів (табл. 5.1) залежно від якості та сорту. При використанні ЗД для одержання заготовок часткова економічна ефективність (e_1) буде додатною із результатом 73,44 % для бука (рис. 5.1), 66,67 % для сосни (рис. 2).

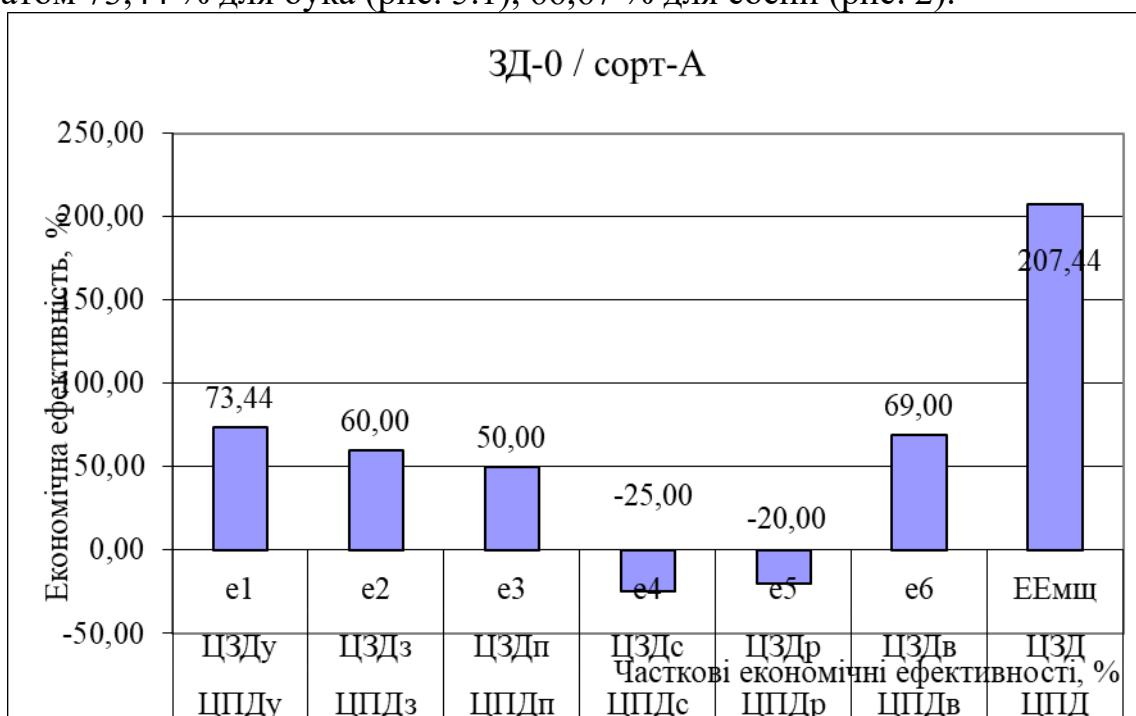


Рис. 1. Розрахункові значення часткових економічних ефективностей при використанні деревини бука

Економія затрат на збирання ЗД є також суттєвою, оскільки даний вид робіт проводиться на різних підприємствах, де залишки деревини не придатні до основного виробництва і, на відміну від заготівлі ПД в лісі, де витрати пов'язані із різкою дерев та доставлянням їх на нижній склад, що характеризується більшими трудозатратами. Часткова економічна ефективність (e_2) на даному етапі є додатною та складає в середньому 60 % для двох порід.

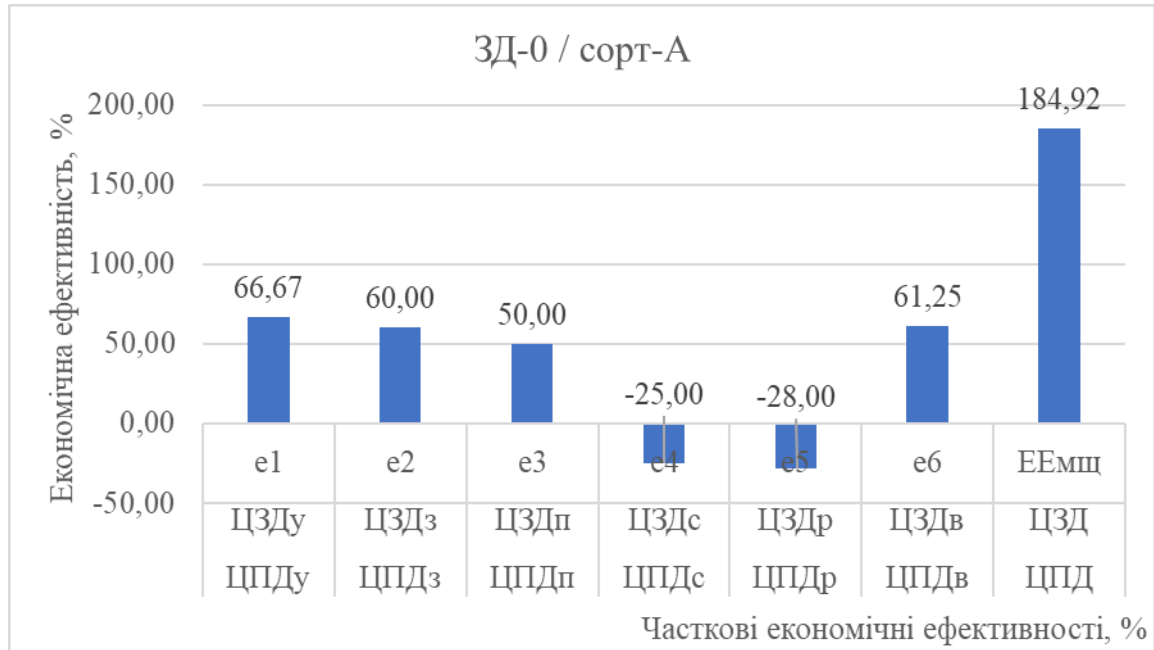


Рис. 2. Розрахункові значення часткових економічних ефективностей при використанні деревини сосни

Економія затрат на перевезення кожного із видів ресурсу пов'язана тільки із відстанню доставки в пункти накопичення, тобто на склад сировини підприємства. Логічно, що відстані доставки від підприємств є значно коротшими, ніж з лісових територій та гірських масивів. Часткова $EE_{мц}$ (e_3) на економії перевезень складає 50 %.

Часткова $EE_{мц}$ (e_4) сортування ЗД для матеріального використання, за категоріями та за видом розмірно-придатного матеріалу також поступається сортуванню колод за сортами і має від'ємний показник, що становить -25 %.

$EE_{мц}$ (e_5) пов'язана із особливостями розкрою кожного виду ресурсу. З одного боку, ЗД у більшості випадків є використаним пиломатеріалом, який потрібно розкрити на специфікаційні заготовки, з іншого – потрібно вибирати між якістю розмірно-придатної ЗД залежно від матеріалу, породи та інших характеристик. Розкрій ПД базується на традиційних технологіях, але потребує специфіки розкрою на якісні заготовки, оскільки для меблевих щитів в основному використовується деревина I та II сортів. Отож маємо показник не на користь ЗД, який становить - 20 % для бука (рис. 1), 28 % для сосни (рис. 2).

Найсуттєвішим показником часткової EE (e_6) є вартість сушіння. Для сушіння ЗД витрати є значно меншими. Якщо для сушіння 1 м³ ПД сосни вологістю 60 % до вологості 8 % потрібно 14 днів із затратами 1600 грн, то для сушіння заготовок ЗД вологістю 12% потрібно 4 дні при затратах 6200 грн, а при вологості ЗД 18 % від зовнішнього користування потрібно 6 днів при затратах 840 грн. Тоб-

то, ЕЕ на восьмому етапі пов'язана із економією теплових ресурсів на сушіння і склала 69 % для бука (рис. 1), 61,25 % для сосни (рис. 2).

Таким чином, підсумкова $EE_{мщ}$ використання ЗД категорії ЗД-0 у порівнянні із ПД І сорту для виготовлення якісних заготовок із деревини бука становить 207,44 %, а із деревини сосни 184,921 % і стимулює до впровадження ресурсоощадних технологій з виробництва, зокрема меблевих щитів.

Розрахунок кошторису виробничої собівартості традиційних меблевих щитів та меблевих щитів із залишків деревини різних конструкцій. Для впровадження результатів досліджень шляхом залучення розмірно-придатних бездефектних відрізків, отриманих із первинної деревини та із залишків деревини не основного виробництва, у виробничий процес, необхідно виконати розрахунок економічної ефективності.

Початкові дані для розрахунку собівартості меблевих щитів:

- Заготівля ділової ліквідної деревини з офіційного сайту Державної служби статистики України маємо дані за 2022 рік для порід: сосна звичайна – 7368,8 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 935,2 тис.м³; Приймаємо корисний вихід під час розпилювання первинної деревини на рівні 70%; Ймовірність використання вищезгаданих порід для виробництва меблевого щита на рівні 20 %; Тоді обсяги сировина для виробництва меблевого щита складуть відповідно: сосна звичайна – 1031,632 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 130,928 тис.м³; Приймаємо корисний вихід під час виготовлення ламелей на рівні 25%; Тоді обсяги меблевого щита складуть відповідно: сосна звичайна – 257,91 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 32,73 тис.м³; Приймаємо ринкову середньозважену ціну на меблеві щити, користуючись відповідними сайтами, на рівні: сосна звичайна – 29400 тис. грн за 1 м³; бук звичайний (лісовий) – 42000 тис. грн за 1 м³; Дохід від продажу меблевих щитів для даних обсягів складе: сосна звичайна – 7582,5 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 1374,74. млн.грн; Приймаючи товщину меблевого щита 24 мм, розраховуємо та заокруглюємо до цілого числа кількість щитів розміром 1000x1000 мм в одному кубі, приймаємо 42 шт. Тоді вартість одного метра квадратного меблевого щита із первинної деревини буде становити на рівні: сосна звичайна – 700 тис. грн за 1 м²; бук звичайний (лісовий) – 1000 тис. грн за 1 м²;

- Для розрахунку річної економії для даних обсягів розглянемо заміну первинної деревини даних порід на 50 % та на 100%; Використовуючи отримані значення економічної ефективності для порід (табл. 5.2 для ЗД-0: сосна звичайна – 184,92 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 207,44 млн.грн, ціна меблевих щитів складе : сосна звичайна – 15899 тис. грн за 1 м³; бук звичайний (лісовий) – 20247 тис. грн за 1 м³;

- Тоді, при конструкціях меблевих щитів 50 % із ПД та 50% із ЗД дохід від продажу меблевих щитів для даних обсягів складе: сосна звичайна – 5841,49 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 1018,74. млн.грн, а відповідно – заощадження складуть 1741,00 млн.грн; та 356,00 млн. грн. При конструкціях меблевих щитів 100% із ЗД дохід від продажу меблевих щитів для даних обсягів складе: сосна звичайна – 4100,49 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 662,73 млн.грн, а відповідно – заощадження складуть 3482,00 млн.грн; та 712,00 млн. грн. Аналогічно, при конструкціях меблевих щитів 50 % із ПД та 50% із ЗД вартість одного метра квадратного складе: сосна звичайна – 539,27 грн; бук звичайний (лісовий) – 741,04

грн; При конструкціях меблевих щитів 100% із ЗД вартість одного метра квадратного складе: сосна звичайна – 321,45 грн; бук звичайний (лісовий) – 517,93 грн.

На основі одержаних та наведених результатів побудуємо порівняльну гістограму собівартості (рис. 3) МЩ із 100 % із ПД, МЩ 50 % із ПД та 50% із ЗД та МЩ із 100 % із ЗД. За даними всіх порівняльних досліджень з визначення кошторису виробничої собівартості МЩ із ПД та МЩ із ЗД, можна одержати фінансову та еколого-економічну вигоду.

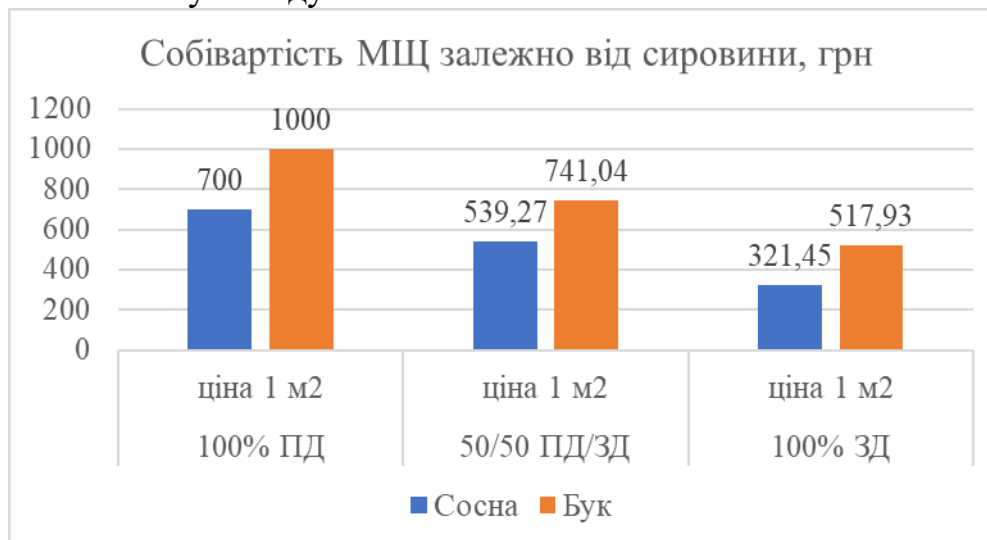


Рис. 3. Порівняльний аналіз виробничої собівартості МЩ із ПД та МЩ із ЗД різних конструкцій

Розрахунок економічного ефекту розрахункової вартості меблевих щитів від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості. Обґрунтування та початкові дані для розрахунку економічного ефекту розрахункової вартості меблевих щитів від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості наступна:

- Заготівля ділової ліквідної деревини з офіційного сайту Державної служби статистики України маємо дані за 2022 рік для порід: сосна звичайна – 7368,8 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 935,2 тис.м³; Ймовірність використання вищезгаданих порід для виробництва меблевого щита на рівні 20 %;

- Тоді обсяги колод для виробництва меблевого щита складуть відповідно: сосна звичайна – 1473,76 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 187,04 тис.м³; Приймаємо корисний вихід під час розпилювання колод на рівні 70%; Тоді обсяги сировина для виробництва меблевого щита складуть відповідно: сосна звичайна – 1031,632 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 130,928 тис.м³;

- Приймаємо корисний вихід під час виготовлення ламелей на рівні 25%; Тоді обсяги меблевого щита складуть відповідно: сосна звичайна – 257,91 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 32,73 тис.м³.

Зведені розрахунки початкових даних у табл. 3.

Таблиця 3. Початкові дані для розрахунку економічного ефекту

Порода	Заготівля колод	На МЩ	Обсяг колод МЩ	Вихід дощок	Обсяг дощок МЩ	Вихід бездефектних ламелей	Обсяг МЩ
2022	тис.м3	20%	тис.м3	70%	тис.м3	25%	тис.м3
Сосна	7368,8	0,2	1473,76	0,7	1031,632	0,25	257,908
Бук	935,2	0,2	187,04	0,7	130,928	0,25	32,732

Методика розрахунку економічного ефекту розрахункової вартості меблевих щитів від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості наступна: Приймаємо брак (втрати) через проблеми з формостійкістю – випадкове укладання на рівні 10%; Тоді обсяги браку меблевого щита складуть відповідно: сосна звичайна – 25,791 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 3,273 тис.м³; Приймаємо ринкову середньозважену ціну на меблеві щити, користуючись відповідними сайтами, на рівні: сосна звичайна – 29400 тис. грн за 1 м³; бук звичайний (лісовий) – 42000 тис. грн за 1 м³; Тоді втрати через брак меблевих щитів для даних обсягів складе: сосна звичайна – 758,25 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 137,474. млн.грн; Після запровадження практичних заходів щодо прогнозування стріл прогину брак зменшиться орієнтовно на 6 %; Тоді обсяги браку меблевого щита складуть відповідно: сосна звичайна – 10,316 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 1,309 тис.м³; Тоді річна економія від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості складе: сосна звичайна – 454,95 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 82,485 млн.грн; Економія від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості складе для 1 м³ меблевого щита складе: сосна звичайна – 1764 грн; бук звичайний (лісовий) – 2520 грн.

Зведені розрахунки економічного ефекту у табл. 4.

Таблиця 4. Розрахунок економічного ефекту від впровадження рекомендацій

	Обсяг МЩ	Втрати укладання	Брак	Ціна, ПД	Втрата	Впровадження заходів	Брак	Річна економія	Економія на 1 м ³
	тис.м ³	10%	тис.м ³	грн	млн. грн	4%	тис.м ³	млн. грн	грн
Сосна	257,908	0,1	25,791	29400	758,25	0,04	10,316	454,950	1764
Бук	32,732	0,1	3,273	42000	137,47	0,04	1,309	82,485	2520

На основі одержаних та наведених результатів побудуємо порівняльну гістограму економічного ефекту від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості (рис. 4).

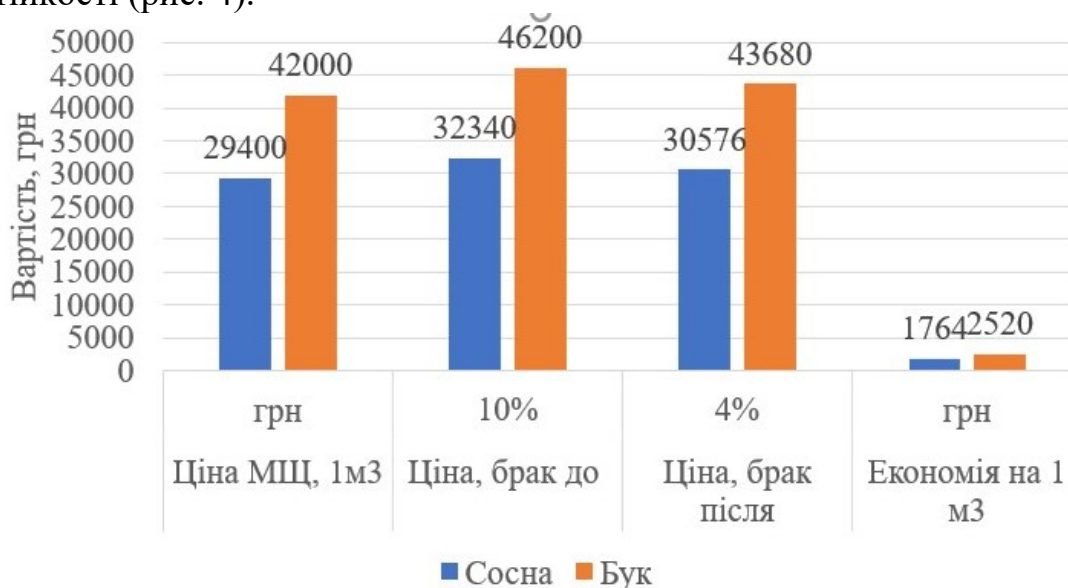


Рис. 4. Гістограма економічного ефекту від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості для 1 м³ меблевого щита

Висновки.

1. Розроблено математичну модель розрахунку економічної ефективності процесу одержання ламелей із монолітних та зрощених ламелей із бездефектних відрізків ЗД та ПД для меблевих щитів заданої формостійкості, використання якої дасть можливість прогнозувати перспективи розвитку підприємства, ефективно та швидко визначити кошторис виробничої собівартості меблевих щитів з бездефектних ділянок соснових та букових ламелей. Побудовано модель, яка базується на часткових $EE_{\text{мщ}}$ на окремих технологічних процесах, які передбачають зменшення/збільшення грошових витрат, що пов'язано із матеріальними або енергетичними ресурсами. Враховано витрати на таких етапах перероблення ЗД: на місцях утворення, на місцях збирання, за перевезення до місць складування, за сортування, за розкрій, за сушіння.

2. Встановлено, що з врахуванням витрат на кожному етапі залучення ЗД для одержання розмірно-якісних заготовок $EE_{\text{мщ}}$ досягається за рахунок низької ціни на ЗД, зменшення витрат на збирання та заготівлю, суттєвого скорочення часу на сушіння заготовок ЗД у порівнянні із заготовками із ПД, особливостей складування, сортування та розкрою ЗД.

3. Отримана модель дає змогу правильно організовувати технологічний процес матеріально-го перероблення ЗД на заготовки та забезпечувати виготовлення розмірно-придатних заготовок належної міцності. Досліджено вплив складових оптимізаційної моделі та основних технологічних факторів процесу перероблення ЗД на заготовки на значення $EE_{\text{мщ}}$. У результаті доцільність використання оптимізаційної моделі $EE_{\text{мщ}}$, в першу чергу, дозволить оптимізувати режими основних технологічних операцій як розкрій та сушіння.

4. Розраховано, що найсуттєвішим показником часткової EE (e_6) є вартість сушіння. Для сушіння ЗД витрати є значно меншими. Якщо для сушіння 1 м^3 ПД сосни вологістю 60 % до вологості 8 % потрібно 14 днів із затратами 1600 грн, то для сушіння заготовок ЗД вологістю 12% потрібно 4 дні при затратах 6200 грн, а при вологості ЗД 18 % від зовнішнього користування потрібно 6 днів при затратах 840 грн. Тобто, EE на восьмому етапі пов'язана із економією теплових ресурсів на сушіння і склала 69 % для бука, 61,25 % для сосни. Розраховано, що підсумкова EE використання ЗД категорії ЗД-0 у порівнянні із ПД I сорту для виготовлення якісних заготовок із деревини бука становить 207,44 %, а із деревини сосни 184,921 % і стимулює до впровадження ресурсощадних технологій з виробництва, зокрема меблевих щитів.

5. Встановлено, що, як демонструють результати порівняльних досліджень з визначення кошторису виробничої собівартості традиційних МЩ із ПД та МЩ із ЗД, при застосуванні ЗД можливо одержати фінансову та еколого-економічну вигоду. Основна вигода виробника полягає у зменшенні матеріальних витрат на виготовлення МЩ із ЗД у порівнянні з традиційними МЩ із ПД. Так, при конструкціях меблевих щитів 50 % із ПД та 50% із ЗД дохід від продажу меблевих щитів для обсягів 257,91 тис. м³ для сосни та 32,73 тис. м³ для бука складе: сосна звичайна – 5841,49 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 1018,74. млн.грн, а відповідно – заощадження складуть 1741,00 млн.грн; та 356,00 млн. грн. А конструкцій меблевих щитів 100% із ЗД дохід від продажу меблевих щитів для даних обсягів складе: сосна звичайна – 4100,49 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 662,73 млн.грн, а відповідно – заощадження складуть 3482,00 млн.грн; та 712,00 млн. грн.

6. Таким чином, розрахунки демонструють, що здешевлення МЩ із ЗД складає від 22,96 % до 25,89 % при конструкції 50%/50%, від 45,92 % до 51,79 % при 100% використанні ЗД. Розраховано, що при конструкціях меблевих щитів 50 % із ПД та 50% із ЗД вартість 1 м^2 складе: сосна звичайна – 539,27 грн; бук звичайний (лісовий) – 741,04 грн; при конструкціях меблевих щитів 100% із ЗД вартість 1 м^2 складе: сосна звичайна – 321,45 грн; бук звичайний (лісовий) – 517,93 грн. Визначено, що економія від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості складе для 1 м^3 меблевого щита складе: сосна звичайна – 1764 грн; бук звичайний (лісовий) – 2520 грн.

References

1. Denysyuk V.A., Kushpit A.S., Kushpit O.M. (2018). *Analiz vplyvu vydu z"yednan' za shyrynoyu na formostiykist' 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).

2. **Gayda S.V.** (2007). A problem of arboreal raw material is in Europe and Ukraine. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 33:55-63 (in Ukrainian).

3. **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.

4. **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.

5. **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.

6. **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).

7. **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.

8. **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).

9. **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.

10. **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).

11. **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.

12. **Gayda S.V.** (2014). *Teoreticheskoye obosnovaniye podkhoda po prognozirovaniyu prochnosti drevesnostruzhechnykh plit 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).

13. **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).

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

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

16. **Gayda S.V.** (2016). *Ekologo-tekhnologicheskiye 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).

17. **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).

18. **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>

19. **Gayda S.V.** (2016). Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом / *Tekhnologichni pidkhody do poverkhnevoho ochyshchennya vzhuvanoyi derevyiny holkofrezernym instrumentom* [Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools]. *Bulletin of KhNTUA* 178:3-11(in Ukrainian).

20. **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).

21. **Gayda S.V.** (2017). Комплексні дослідження зміни пружних властивостей вживаної деревини ялиці з віком / *Kompleksni doslidzhennya zminy pruzhnykh vlastyvostey vzhuvanoyi derevyiny 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>

22. **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).
23. **Gayda S.V.** (2018). Дослідження та аналіз характеристик щитових конструкцій із вживаної деревини / *Doslidzhennya ta analiz kharakterystyk shchytovykh konstruktсий iz vzhivanoyi derevyny* [A investigation and analysis of characteristics of solid furniture boards made of post-consumer wood]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 44:15-25 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184402>
24. **Gayda S.V.** (2019). *Naukovo-tekhnichni osnovy vykorystannya vzhivanoyi derevyny v derevoobrobtsi* [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.** (2020). Аналіз конструкцій та технологій виготовлення сучасних меблевих фасадів / *Analiz konstruktсий 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>
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., Ilkiv M.M., Savka D.B.** (2021). Дослідження технологічних процесів виготовлення меблевих фасадів з масивної деревини // *Doslidzhennya tekhnolohichnykh protsesiv vyhotovlennya meblevykh fasadiv z masyvnoyi derevyny*. [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>
28. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2018). Формостійкість як критерій якості столярних плит із вживаної деревини / *Formostiyst' yak kryteriy yakosti stolyarnykh plyt iz vzhivanoyi derevyny* [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).
29. **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>
30. **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>
31. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2021). Властивості вживаної деревини як визначальний чинник якості меблевих виробів / *Vlastyvosti vzhivanoyi derevyny 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>
32. **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>
33. **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].
34. **Gayda S.V., Petryshak I.V., Humeniuk Zh.Ya.** (2021). *Vyznachennya vplyvu porody ta rezhymiv shlifuvannya na shorstkist' poverkhni derevyny* [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>.
35. **Gayda S.V., Salapak L.V., Lesiv L.E.** (2021). *Vyznachennya efektyvnoho tekhnolohichnoho 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>
36. **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).
37. **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>
38. **Kryvyk, O.O., Mayevskyy, V.O** (2011) *Dynamika zminy formostiystkosti shchytiv kleyenykh z poyednanniam 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).
39. **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).

40. 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>

41. 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>

42. 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>

UDC 684.41

Postgraduate student T.I. Podibka – UNFU

Mathematical model for calculating the economic efficiency of the process of manufacturing defect-free sections for shape-resistant furniture panels

A mathematical model was developed for calculating the economic efficiency of the EEFB process of obtaining lamellas from monolithic and jointed lamellas from defect-free pieces of wood residues (WR) and primary wood (PW) for furniture panels of a given dimensional stability, the use of which will make it possible to forecast the prospects for the development of the enterprise, to efficiently and quickly determine the estimate of the production cost price of furniture boards made of defect-free areas of pine and beech lamellas. It is calculated that the final EEFB of using WR category WR -0 in comparison with PW I grade for the production of high-quality blanks from beech wood is 207.44%, and from pine wood is 184.921% and stimulates the introduction of resource-saving production technologies, in particular furniture panels. It has been established that, as demonstrated by the results of comparative studies on the estimation of the production cost of traditional FB with PW and FB with WR, it is possible to obtain financial and ecological and economic benefits when using WR. The main benefit of the manufacturer is the reduction of material costs for the production of MH with WR in comparison with traditional FB with PW. Thus, with the construction of furniture boards 50% from PW and 50% from WR, the income from the sale of furniture boards for the volumes of 257.91 thousand m³ for pine and 32.73 thousand m³ for beech will be: common pine – 5841.49 million hryvnias ; ordinary beech – 1018.74. million hryvnias, and accordingly – savings will amount to 1741.00 million hryvnias; and UAH 356.00 million. And for the constructions of furniture panels 100% from WR, the income from the sale of furniture panels for these volumes will be: common pine – 4100.49 million hryvnias; ordinary beech – 662.73 million hryvnias, and accordingly – savings will amount to 3482.00 million hryvnias; and UAH 712.00 million. Thus, the calculations show that the price reduction of FB with WR is from 22.96% to 25.89% with the 50%/50% design, from 45.92% to 51.79% with 100% use of WR. It is calculated that for the construction of furniture panels 50% from PW and 50% from WR, the cost of 1 m² will be: ordinary pine – UAH 539.27; ordinary beech – UAH 741.04; for the construction of furniture panels 100% from WR, the cost of 1 m² will be: common pine – UAH 321.45; common beech (forest) – UAH 517.93.

Keywords: furniture board, pine (*Pinus sylvestris*), beech (*Fagus sylvatica* L.), mathematical model, slat, lamella, physical and mechanical properties, characteristics, modeling, form stability, deflection beam, deformability, technologies, gluing, splicing.
