



*Директор ТЗОВ «Фортуна-меблі» В.В. Киянка¹;
проф. С.В. Гайда², д-р техн. наук – НЛТУ України*

РОЗРОБЛЕННЯ ШЛЯХІВ ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВИННИХ ЗАЛИШКІВ ТА ВІДХОДІВ ВІД ПЕРЕРОБЛЕННЯ ДЕРЕВИННИХ ТА КОМПОЗИТНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МЕБЛЕ- ВОГО ПІДПРИЄМСТВА ТЗОВ «ФОРТУНА-МЕБЛІ»

Розглянуто проблему утворення та повторного використання деревинних залишків і відходів композитних матеріалів у меблевому виробництві в контексті принципів циркулярної економіки. Мета дослідження – розробити та науково обґрунтувати ефективні маршрути перероблення відходів (механічне повторне використання, панельні матеріали, біоенергетика) з урахуванням економічних та екологічних критеріїв. Методика включає облік потоків за 2022-2024 рр., класифікацію відходів (тверді обрізки; м'які фракції – тирса, стружка), побудову матеріально-балансової моделі з матрицею розподілу, перерахунки об'єм↔маса з урахуванням щільності та вологості, економічне моделювання (доходи/витрати/уникнені платежі за полігон), енергетичну та вуглецеву оцінку (LHV, фактори викидів), аналіз чутливості. Показано стаке зниження загального обсягу відходів з 54,80 м³ (2022) до 30,48 м³ (2024) (–44%), з найбільшим внеском твердих обрізків (з 35,23 до 19,58 м³). Запропонована схема розподілу у 2024 р. забезпечила ≈95% відведення від полігону (28,95 м³): пріоритет механічного повторного використання обрізків (євробрус/піддони/комплектуючі), спрямування дрібних фракцій на біопаливо та як сировину для ДСП/MDF. Сумарний економічний ефект базового сценарію становить ≈0,25 млн грн/рік (у т.ч. маржа напрямів ≈0,23 млн грн та уникнені витрати на полігон ≈23 тис. грн). Енергетичний еквівалент біопалива – ≈11,35 МВт·год/рік; відвернені викиди CO₂ – ≈2,29 т (заміщення природного газу) або ≈3,86 т (вугілля). Наукова новизна полягає у поєднанні каскадного використання деревини з інтегрованою матеріально-балансовою моделлю на рівні підприємства, що узгоджує технологічні, економічні та екологічні показники. Практична значущість – у наданні відтворюваного інструментарію для управління відходами, планування потужностей та впровадження КРІ ресурсоефективності.

Ключові слова: меблеве виробництво; деревинні залишки; композитні відходи; повторне використання; ДСП; MDF; ресурсоефективність; відведення від полігону; вживана деревина, циркулярна економіка, технологія, утилізація, біопаливо, CO₂.

Вступ. Сучасний розвиток меблевої промисловості характеризується інтенсивним використанням деревини та композитних конструкційних матеріалів, що супроводжується значним утворенням виробничих відходів. За оцінками, частка залишків деревини й композитів у меблевому виробництві може сягати 30–40 % [87] від загального обсягу використаної сировини, що призводить до підвищення собівартості продукції та створює додаткове екологічне навантаження на довкілля. Неефективне використання цих ресурсів спричиняє перевитрати матеріалів, зростання витрат на їх утилізацію, а також посилює проблему забруднення навколишнього середовища [9, 32, 56-58].

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю впровадження ресурсозберігаючих технологій та пошуку шляхів повторного використання деревинних

¹ Киянка Володимир Володимирович – директор ТЗОВ «Фортуна-меблі», вул. П'ясецького, 15, Львів, Україна. Тел.: +38-067-313-31-90. E-mail: vkyyanka@gmail.com

² Гайда Сергій Володимирович – академік Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04, +38-067-791-25-22. E-mail: serhiy.hayda@nltu.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661> ResearcherID: ABB-1636-2021 Scopus/authorID=57221587964

залишків. Це відповідає сучасним тенденціям розвитку «зеленої економіки» та принципам циркулярної економіки, що передбачають мінімізацію відходів і максимальне повернення матеріалів у виробничий цикл. Розроблення та застосування інноваційних підходів до перероблення деревинних і композитних відходів дає змогу підвищити ефективність діяльності меблевих підприємств, знизити витрати та сформувати конкурентні переваги на ринку.

Проблемність дослідження полягає в тому, що на практиці більшість меблевих підприємств не мають системного підходу до управління відходами. Залишки деревини та композитних матеріалів здебільшого вивозяться на полігони або спалюються, що не лише не приносить економічної вигоди, але й посилює екологічні ризики. Водночас потенціал цих відходів як вторинної сировини або енергетичного ресурсу використовується недостатньо. Відсутність чітких методичних рекомендацій і науково обґрунтованих рішень щодо організації ефективної системи перероблення деревинних відходів створює потребу у проведенні комплексних досліджень.

Таким чином, постає завдання розроблення науково обґрунтованих шляхів використання залишків деревини та композитних відходів меблевого виробництва, що дозволить поєднати економічні інтереси підприємства із завданнями збереження навколишнього природного середовища.

Метою дослідження є розроблення та наукове обґрунтування ефективних шляхів використання деревинних залишків і відходів, що утворюються внаслідок перероблення деревинних та композитних конструкційних матеріалів у виробничій діяльності меблевого підприємства, з орієнтацією на підвищення ресурсоефективності та зменшення антропогенного впливу на довкілля.

Об'єктом дослідження виступають деревинні та композитні відходи, що виникають у процесі виробничої діяльності меблевого підприємства.

Предметом дослідження є технологічні та організаційні підходи до повторного використання і перероблення залишків деревини та відходів композитних конструкційних матеріалів у меблевому виробництві.

Завдання дослідження: Провести аналіз складу, структури та обсягів відходів, характерних для меблевого підприємства. Узагальнити сучасні методи та технології утилізації й повторного використання деревинних і композитних залишків. Визначити перспективні напрями застосування відходів для виготовлення вторинних матеріалів, паливних ресурсів та допоміжних конструкційних елементів. Розробити рекомендації щодо впровадження технологій перероблення відходів у межах меблевого виробництва. Виконати оцінку економічної ефективності та екологічної доцільності запропонованих рішень.

Гіпотеза дослідження. Рациональне використання залишків деревини та відходів композитних матеріалів меблевого виробництва шляхом їх вторинної переробки забезпечує зниження витрат на сировину й утилізацію, сприяє підвищенню екологічної безпеки та створенню додаткових продуктів з високою доданою вартістю [1, 8, 26, 36, 55].

Наукова новизна:

- Удосконалено підходи до класифікації деревинних та композитних відходів з урахуванням можливостей їх повторного використання у меблевому виробництві [12, 15, 17, 21, 28, 34, 45, 56, 57, 58, 78, 81, 82].

- Запропоновано комплексне рішення щодо організації системи перероблення відходів на підприємстві, яке поєднує технологічні, економічні та екологічні аспекти, і принципи циркулярної економіки [27, 28, 49, 60, 61, 63, 64].
- Обґрунтовано доцільність застосування деревинних залишків як альтернативної сировини для виготовлення плитних матеріалів і як джерела енергетичних ресурсів [22, 7, 11, 12, 13, 50].
- Встановлено взаємозв'язок між ефективністю організаційних заходів із перероблення відходів та економічними результатами виробництва.

Практична значимість. Результати дослідження можуть бути використані меблевими підприємствами для оптимізації виробничих процесів, зниження витрат на утилізацію відходів і закупівлю первинної сировини, а також для формування екологічно орієнтованої стратегії розвитку [9, 16, 26, 38, 47, 53, 85]. Запропоновані рекомендації сприятимуть підвищенню конкурентоспроможності підприємств на ринку та можуть бути адаптовані у суміжних галузях деревообробної та будівельної промисловості [78, 84].

Огляд літератури. Проблематика використання деревинних залишків та відходів виробництва знайшла відображення у працях як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників. У наукових роботах з деревообробки та меблевого виробництва значна увага приділяється питанням зменшення кількості відходів та їх повторного використання [32, 35, 37, 39, 46, 47, 51, 53, 54, 65, 83, 86, 88]. Зокрема, доведено, що вторинна переробка деревинних залишків може забезпечити до 25–30 % додаткової економії ресурсів підприємства [1, 8, 26, 36, 55]. Дослідники підкреслюють, що деревинні відходи мають високу теплотворну здатність, що робить їх перспективними для виробництва біопалива [5].

Окремі автори розглядають можливості використання залишків деревини у виробництві плитних матеріалів: столярної плити [19, 25, 26, 29, 31, 40, 43, 44, 48, 68, 70], меблевого щита [21, 42, 52], ДСП [12, 15, 28, 34, 56, 57, 58] та MDF [1, 45, 81]. Зазначається, що застосування подрібнених деревинних фракцій у композиції з полімерними та неорганічними в'язучими дозволяє отримати нові композитні матеріали з покращеними експлуатаційними характеристиками [78, 84]. Водночас вказується на необхідність удосконалення методик дослідження [3, 14, 16, 26, 69] та технологій сортування та підготовки відходів до перероблення [4, 8, 10, 14, 15, 20, 23, 30, 62, 66, 67, 69, 74, 79, 80], адже саме ці етапи визначають якість [5, 6, 8, 17, 22, 34, 35, 38, 44, 71, 72, 73, 75, 77, 84, 87] і вартість виробу [1, 8, 26, 36, 55].

Разом із тим, аналіз сучасних публікацій свідчить про недостатню увагу до системного підходу щодо інтеграції технологій повторного використання деревинних відходів вживаної деревини [10, 18, 24, 26, 33, 37, 41, 46, 47, 59, 73] у діяльність меблевих підприємств. Переважна більшість досліджень зосереджується або на вузьких технологічних аспектах утилізації, або на окремих видах вторинної продукції, залишаючи поза увагою комплексне поєднання економічних, екологічних та організаційних чинників. Це створює наукову прогалину, заповнення якої і становить мету даного дослідження.

Методика дослідження включає кілька основних компонентів:

1. **Дизайн і межі системи:** а) об'єкт: залишки та відходи, що утворюються під час перероблення деревини (дуб, бук) та композитних матеріалів (ДСП, фанера, MDF) на заготовки меблевого підприємства; б) категорії потоків: Залишки тверді

– обрізки (масив, фрагменти плит); Відходи м'які – тирса; Відходи м'які – стружка; системні межі: від моменту утворення відходів у цехах (розкрій/фрезерування/шліфування) до їх перероблення в продукцію другого циклу (євробрус/піддони, стружка для ДСП, волокно для MDF, біопаливо, адсорбенти) або до утилізації. Логістика поза територією підприємства не включена (за потреби може оцінюватись окремо); Період спостереження: 2022-2024 рр., агрегування – річне (з внутрішніх місячних зведень).

2. **Збір первинних даних:** а) облік обсягів (м^3) : джерела: маршрутні листи/накладні внутрішнього переміщення відходів, журнали вивозу, зведення майстрів цехів; періодичність: щозміни $\rightarrow$ зведення щомісяця $\rightarrow$ консолідація за рік; б) контрольні зважування/вимірювання: раз на квартал виконуються контрольні зважування (т) для м'яких фракцій і обміри (м^3) для твердих обрізків; вологість визначається сушильним методом на лабораторній установці; результати фіксуються як масова вологість w , %; в) сортування для класифікації: на кожній ділянці встановлені окремі контейнери: «Обрізки», «Тирса», «Стружка»; змішування неприпустиме; композитні фрагменти (ламінація, HPL) відносять до «Обрізків» або «Стружки» залежно від фракції.

3. **Перерахунки та нормалізація:** а) корекція на вологість (для переходу до умов «absolutely dry» при енергорозрахунках): $m_0 = (m_{\text{as-is}} \cdot (100 - w)) / 100$; б) перехід $\text{м}^3 \rightarrow \text{т}$ (для економіки/енергетики) через середню щільність ρ : $m = V \cdot \rho / 1000$; Прийняті усереднені значення (для базового сценарію): $\rho_{\text{обрізки}} = 650 \text{ кг/м}^3$ (дуб/бук/плити), $\rho_{\text{тирса}} = 200 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{стружка}} = 100 \text{ кг/м}^3$. За наявності власних вимірів ці параметри замінюються.

4. **Енергетичний потенціал** біопалива визначався за формулою: $E (\text{МВт/год}) = m_0 (\text{т}) \times \text{LHV} (\text{МВт/год/т})$. У розрахунках використано $\text{LHV} = 4,7 \text{ МВт/год/т}$ для сухих гранул/брикетів. Для іншої вологості застосовується поправка $\text{LHV}(w)$.

5. **Відвернені викиди CO_2** при заміщенні енергоносіїв: $\text{CO}_2^{\text{avoid}} = E \cdot \text{EF}$, де EF фактор викидів (наведено два сценарії: природний газ $0,202 \text{ т CO}_2/\text{МВт/год}$, вугілля $0,34 \text{ т CO}_2/\text{МВт/год}$).

6. **Показник відведення від полігону:** $D_{\text{landfill}} = V_{\text{повторно використано}} / V_{\text{усього}} \times 100\%$.

7. **Модель розподілу потоків (матеріальний баланс):** Крок 1. Для кожної категорії k (обрізки/тирса/стружка) визначити обсяг V_k за рік; Крок 2. Застосувати матрицю часток $\alpha_{k \rightarrow j}$ (частка потоку k , скерована в напрям j : євробрус/піддони, ДСП, MDF, біопаливо, адсорбенти, втрати); Крок 3. Розрахувати обсяги за напрямками: $V_j = \sum_k (V_k \cdot \alpha_{k \rightarrow j})$, $m_j = V_j \cdot \rho_k / 1000$; Крок 4. Перевірка закриття балансу: $\sum_j V_j = \sum_k V_k$ (допустиме відхилення $\leq 2\text{--}5\%$). У дослідженні використано матрицю α , сформовану за технологічною придатністю: для обрізків – пріоритет механічного повторного використання (євробрус/піддони), для дрібних фракцій – біопаливо та щитові матеріали.

8. **Економічні розрахунки**

А) **Дохід/еквівалент за напрямом j :** $R_j = \{V_j \cdot P_j (\text{м}^3)\}$, для євробрусу/піддонів; $R_j = \{m_j \cdot P_j (\text{т})\}$, для ДСП/MDF/біопалива/адсорбентів.

Б) **Витрати перероблення C_j :** аналогічно (на 1 м^3 або 1 т), включаючи енергію, працю, витратні матеріали. Амортизацію обладнання можна враховувати окремо.

В) **Уникнені витрати полігону:** $C_{\text{landfill}}^{\text{avoid}} = (V_{\text{усього}} - V_{\text{втрати}}) \cdot T_{\text{полігон}} (\text{м}^3)$.

Г) Економічний ефект (річний): $E_{econ} = \sum_j (R_j - C_j) + C_{landfill}^{avoid}$.

Д) Інтенсивність відходоутворення: $I = V_{усього} / Q_{продукції}$ (m^3/m^3 або $m^3/вириб$) (за наявності даних про випуск продукції).

9. Екологічна оцінка: енергетичний ефект – за формулами з п.3; відвернені викиди CO_2 – для двох базових сценаріїв заміщення (газ/вугілля). за потреби додається сценарій «електроенергія з мережі»; відведення від полігону – частка обсягу, спрямована на повторне використання; додаткові показники (за наявності): скорочення формальдегідних викидів при зменшенні спалювання композитів; питомий показник CO_2 -екв. на $1 m^3$ продукції.

10. Статистична обробка і трендовий аналіз: динаміка: розрахунок річних темпів зміни для кожної категорії: $g = (V_t - V_{t-1}) / V_{t-1} \times 100\%$; невизначеність: для щільностей і вологості задаються інтервали (наприклад, $\pm 10-20\%$). Оцінка чутливості: варіювання ρ , w , P_j , $T_{полігон}$ на $\pm 20\%$ і відстеження впливу на E_{econ} та CO_2^{avoid} ; валідація: перевірка закриття матеріального балансу (відхилення $\leq 5\%$), звірка «знизу-вгору» (сумування по цехах) та «зверху-вниз» (складські/логістичні записи).

11. Якість даних та контроль (QA/QC): подвійний запис (цех $\rightarrow$ склад), щомісячне звірення; квартальні контрольні зважування і визначення вологості. Фотофіксація та збереження накладних/журналів; внутрішній аудит раз на рік: перерахунок вибіркових місяців незалежним інженером.

12. Інструменти і відтворюваність: розрахункові файли: Excel-моделі з параметрами (цінові/технологічні коефіцієнти), додатково Python-скрипти для побудови діаграм і схем потоків; візуалізація: блок-схема матеріальних потоків (кольорова і монохромна для друку), таблиці економіки та екології; Sankey-діаграма – за потреби; репродукція: достатньо підставити річні обсяги V_k , виміряні ρ , w та оновити ціни – запропонована модель автоматично перерахує всі підсумки.

13. Обмеження методики: для композитів (ДСП/MDF/фанера) при енергетичному використанні можливі додаткові екологічні обмеження (вміст смол/покриттів); у базовому сценарії композити пріоритетно спрямовуються в механічне або щитове повторне використання; щільність та вологість мають значну варіабельність; рекомендується щоквартальне оновлення параметрів; економіка чутлива до ринкових цін на гранули/піддони та тарифів полігону – обов'язково проводити аналіз чутливості.

Результати дослідження. У ході дослідження встановлено, що у виробничому процесі меблевого підприємства утворюються різнотипні відходи деревини та композитних матеріалів. Оцінка динаміки утворення залишків та відходів від перероблення деревинних (дуб, бук) та композитних матеріалів (ДСП, фанера, MDF) на заготовки протягом 2022-2024 рр. на меблевому підприємстві наведена у табл. 1.

Таблиця 1. Динаміка накопичення деревинних залишків та відходів від перероблення деревинних та композитних конструкційних матеріалів, m^3

Різновиди залишків та відходів	2022	2023	2024
Річні обсяги	54,80	51,46	30,48
Залишки тверді – обрізки	35,23	34,17	19,58
Відходи м'які – тирса	11,92	12,58	6,65
Відходи м'які – стружка	7,65	4,71	4,24

Порівняльний аналіз загальної кількості відходів та залишків на підприємстві показав зменшення з 54,80 м³ у 2022 р. до 30,48 м³ у 2024 р., що свідчить про загальне покращення ефективності управління відходами та оптимізації виробничих процесів протягом аналізованого періоду. Кількість твердих залишків – обрізків знизилася з 35,23 м³ у 2022 р. до 19,58 м³ у 2024 р. Незначне зменшення у 2023 р. (на ~3%) може бути пов'язане з незначними покращеннями в процесах обробки, а значне зниження у 2024 р. (~43%) свідчить про суттєве вдосконалення методів обробки та використання матеріалів. Відходи тирси спочатку зазнали невеликого зростання з 11,92 м³ у 2022 р. до 12,58 м³ у 2023 р. (~6% збільшення), після чого значно знизилися до 6,65 м³ у 2024 р. (~47% зменшення), що є результатом оптимізації розкрійних процесів. Кількість відходів стружки знизилася з 7,65 м³ у 2022 р. до 4,24 м³ у 2024 р. Зниження на ~38% з 2022 по 2023 рік та подальше помірне зменшення (~10%) з 2023 по 2024 рік вказують на ефективне управління цим типом відходів та можливість їх повторного використання. Ефективне управління залишками та відходами при переробці деревинних та композитних конструкційних матеріалів є критично важливим для меблевих підприємств. Оптимізація цього процесу дозволяє знизити витрати, покращити екологічну стійкість підприємства та підвищити загальну ефективність виробництва.

За наведеними даними підприємства сформовано розподіл додаткових деревинних ресурсів за напрямками ймовірного та ефективного використання – перероблення на відповідну кондиційну продукцію (табл. 2, рис. 1).

Враховано технологічну придатність кожного типу відходів:

- Залишки тверді – обрізки (19.58 м³): 60% → євробрус/піддони/комплектуючі; 25% → подрібнення на тріску для ДСП; 10% → біопаливо; 5% → втрати.
- Тирса (6.65 м³): 70% → гранула/брикет; 20% → волокно для MDF; 5% → адсорбенти/компост; 5% → втрати.
- Стружка (4.24 м³): 50% → гранула/брикет; 30% → ДСП; 15% → підстилка/адсорбенти; 5% → втрати.

Такий розподіл відповідає типовій практиці: обрізки максимально залишають у механічному циклі (столярна плита/меблевий щит/євробрус/піддони), дрібні фракції – у біоенергетиці та панельних матеріалах, частина – у сорбентах/підстилці; невеликі технологічні втрати закладаються як неминучі.

Таблиця 2. Розподіл додаткових ресурсів за напрямками використання

Джерело відходів	Обсяг 2024, м³	Напрямок використання	Частка, %	Обсяг, м³
Залишки тверді – обрізки	19,58	Конструкційні елементи (СП, МЩ, ЄБ)	60	11,75
		Сировина на ДСП (після подрібнення)	25	4,90
		Біопаливо (брикети/гранули)	10	1,96
		Технологічні втрати/непридатні	5	0,98
Відходи м'які – тирса	6,65	Біопаливо (гранули/брикети)	70	4,66
		Сировина на MDF (волокно)	20	1,33
		Адсорбенти/наповнювачі/компост	5	0,33
		Технологічні втрати/непридатні	5	0,33
Відходи м'які – стружка	4,24	Біопаливо (гранули/брикети)	50	2,12
		Сировина на ДСП	30	1,27
		Підстилка/адсорбенти	15	0,64
		Технологічні втрати/непридатні	5	0,21

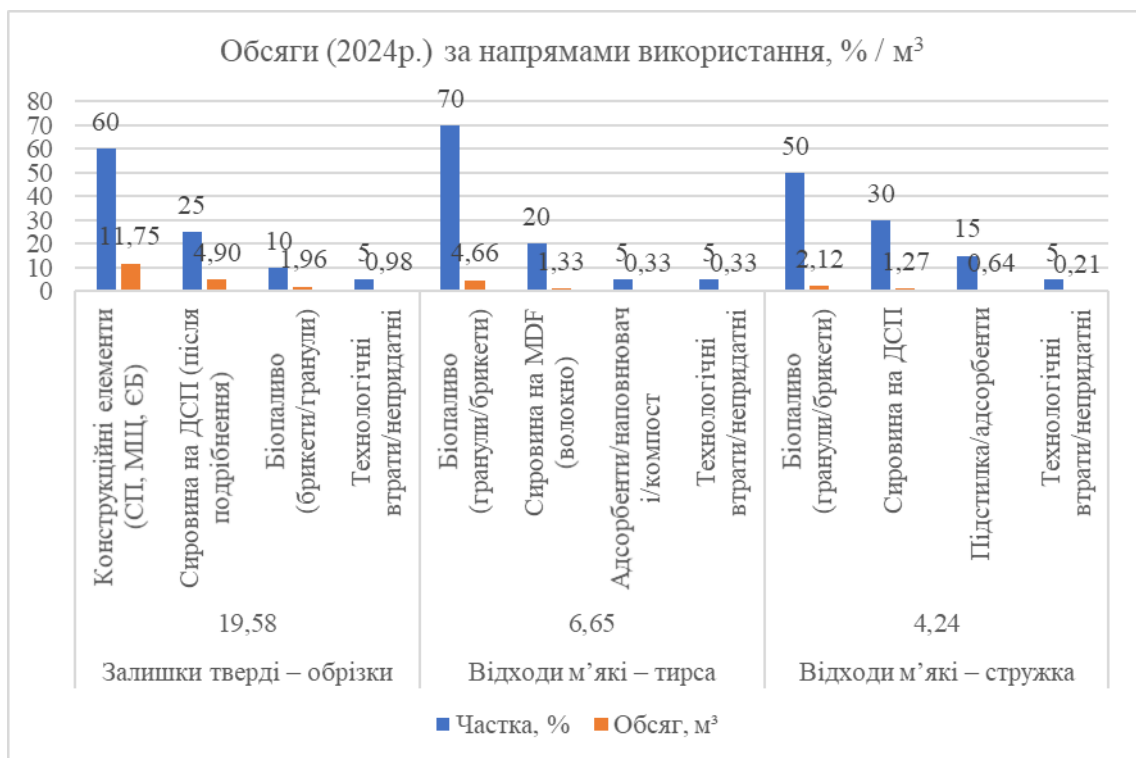


Рис. 1. Групи відходів за напрямками використання

Обсяги перероблення додаткових деревинних ресурсів за напрямками ймовірного та ефективного використання за відповідними технологічними процесами наведено на рис. 2. За основу взято 2024 р. як найактуальніший період і застосовано практичну модель розподілу



Рис. 2. Комплексний підхід до перероблення наявних відходів 2024 року

Підсумкові напрями використання (2024), м³: допоміжні конструкційні елементи (столярна плита (СП), меблевий щит (МЩ), євробрус (ЄБ), піддони, комплектуючі) – 11,75 м³; сировина на ДСП (після подрібнення обрізків + частина

стружки) – 4,9 м³; сировина на MDF (волокно з тирси) – 1,33 м³; біопаливо (гранула/брикет з тирси та стружки + частково обрізки) – 6,78 м³; підстилка/адсорбенти/компост – 0,64 м³; технологічні втрати/непридатні – 1,52 м³.

Розрахункові параметри для визначення економічних показників наведені у табл. 3, а сумарний розрахунковий економічний ефект від виробничої діяльності з перероблення деревинних залишків та відходів поданий у табл. 4. Оцінювання виконано за напрямками перероблення (столярна плита/меблевий щит/євробрус/піддони, стружка на ДСП, волокно на MDF, біопаливо, адсорбенти) з урахуванням собівартості операцій та уникнутих витрат на захоронення.

Табл. 3. Розрахункові дані для груп залишків та відходів

Напрямок використання	Обсяг, м ³	Щільність, кг/м ³	Маса, т
Адсорбенти/наповнювачі/компост	0,33	201,2	0,067
Біопаливо (брикети/гранули)	1,96	276,7	0,542
Біопаливо (гранули/брикети)	6,78	276,7	1,875
Конструкційні елементи (СП, МЩ, ЄБ)	11,75	650,0	7,637
Підстилка/адсорбенти	0,64	100,6	0,064
Сировина для ДСП	1,27	536,6	0,683
Стружка для ДСП (після подрібнення)	4,90	536,6	2,627
Сировина на MDF (волокно)	1,33	200,0	0,266
Технологічні втрати/непридатні	1,52	475,1	0,724
Підсумки перероблення	30,48		14,484
Диверсія від полігону (30,48-1,52)	28,95		

Табл. 4. Розрахунок сумарного економічного ефекту

Напрямок використання	Обсяг, м ³	Ціна за т, м ³	Дохід, грн	Ціна витрат	Витрати, грн	Маржа, грн
Адсорбенти/наповнювачі/компост	0,33	1500	0,100	300	0,020	0,080
Біопаливо (брикети/гранули)	1,96	8000	4,334	2500	1,354	2,980
Біопаливо (гранули/брикети)	6,78	8000	15,003	2500	4,688	10,314
Конструкційні елементи (СП, МЩ, ЄБ)	11,75	20000	234,980	2500	29,373	205,608
Підстилка/адсорбенти	0,64	1500	0,096	300	0,019	0,077
Сировина для ДСП	1,27	4000	2,731	1000	0,683	2,048
Стружка для ДСП (після подрібнення)	4,90	4000	10,507	1000	2,627	7,880
Сировина на MDF (волокно)	1,33	5000	1,331	1200	0,319	1,011
Технологічні втрати/непридатні	1,52	0	0,000		0,000	0,000
Підсумки перероблення	30,48		269,081		39,083	229,998
Диверсія від полігону (30,48-1,52)	28,95					
Уникнені витрати на полігон	28,95			800		23,163
Сумарний економічний ефект						253,161

Розрахунок еколого-економічних показників від виробничої діяльності з перероблення деревинних залишків та відходів поданий у табл. 5. Екологічна ефективність: диверсія від полігону – повторно використано ≈ 28.95 м³ із 30.48 м³ (≈ 95 %), втрати – ≈ 1.52 м³; енергетичний ефект від біопалива – з маси біомаси ≈ 2.42 т отримується ≈ 11.36 МВт·год енергії (оцінка: 4.7 МВт·год/т для сухих брикетів/гранул); відвернені викиди CO₂ при енергетичному заміщенні: заміщення

природного газу: $\approx 2,30$ т CO₂ (фактор 0.202 т/МВт·год); заміщення вугілля: $\approx 3,87$ т CO₂ (фактор 0.34 т/МВт·год).

Табл. 5. Розрахунок еколого-економічних показників

Еколого-енергетичні показники від біопалива	Енергія, МВт·год	Відвернені викиди, т CO ₂ (якщо заміщує газ)	Відвернені викиди, т CO ₂ (якщо заміщує вугілля)
Біопаливо, т	2,417	2,417	2,417
Перевідні значення	4,700	0,95	1,60
Отримані показники	11,36	2,30	3,87

Таким чином, запропонована схема (табл. 4) забезпечує суттєвий економічний ефект (понад 0,25 млн грн/рік) та значимі екологічні вигоди (табл. 5): майже повне відведення потоку від полігону та зменшення викидів CO₂. Подальше зростання ефекту очікується за рахунок збільшення частки механічного повторного використання обрізків і встановлення повноцінної лінії гранулювання. Сукупно результати демонструють, що впроваджена комбінована стратегія перероблення відходів є економічно доцільною, екологічно обґрунтованою і технологічно відтвореною для меблевого підприємства.

Обговорення результатів. Отримані дані демонструють стійке зниження загального обсягу залишків та відходів із 54,80 м³ (2022) до 30,48 м³ (2024) (-44%). Найбільший внесок у скорочення забезпечили тверді обрізки (-44% за 2022-2024), що синхронізується з переходом до точнішого розкрою та кращого використання карт розкрою. Невелике погіршення за фракцією тирси у 2023 р. (+6%) можна пояснити зміною номенклатури продукції (зростання шліфувальних операцій) або сезонними факторами, тоді як різке зниження у 2024 р. (-47%) свідчить про результативність оптимізації системи аспірації/розкрою. Для стружки спостерігаємо стабільне зменшення (-45% за 2 роки), що, ймовірно, пов'язане з повторним використанням в цеху і зміною режимів різання.

Запропонований матеріальний баланс 2024 р. забезпечив $\approx 95\%$ відведення від полігону (28,95 м³ із 30,48 м³) завдяки поєднанню механічного та енергетичного маршрутів. Ключовим є пріоритет механічного повторного використання твердих обрізків (столярна плита/меблевий щит/євробрус/піддони/комплектуючі) перед подрібненням на стружку: це зберігає «якість» матеріалу та капіталізує попередню обробку. Дрібнодисперсні фракції (тирса, стружка) оптимально відводяться на біопаливо та як сировина для плитних матеріалів (ДСП/MDF), що зменшує потребу у первинній деревині та стабілізує матеріальний цикл.

Сукупний економічний ефект за базовим сценарієм становить $\approx 0,25$ млн грн/рік, із яких $\approx 205,6$ тис. грн ($\approx 89\%$ маржі) припадає на лінійку євробрус/піддони. Другий за внеском напрям – біопаливо ($\approx 13,3$ тис. грн; $\approx 6\%$ маржі), третій – стружка на ДСП ($\approx 9,9$ тис. грн; $\approx 4\%$). Питомий ефект біопалива менший за механічний, але він критично важливий для утилізації дрібних фракцій і стабілізації балансу відходів. Додатково $\approx 23,2$ тис. грн/рік дає уникнення витрат на полігон. Отже, підприємство отримує подвійний виграв: цінність продукту (євробрус/піддони) + уникнення витрат (полігон, закупівля первинної сировини).

Енергетичне використання дрібних фракцій забезпечує $\approx 11,35$ МВт·год корисної енергії й відвертає $\approx 2,29$ т CO₂ (за заміщення природного газу) або $\approx 3,86$ т CO₂ (за заміщення вугілля) щороку. Водночас для композитів (ДСП/MDF/фанера)

пріоритетним лишається матеріальне повторне використання через можливі екологічні обмеження при спалюванні (смоли, покриття). Таким чином, екологічно оптимально: обрізки – у механічний цикл; дрібні фракції – в біоенергію або у вторинні панельні матеріали залежно від локальної ціни енергії та вимог екологічного законодавства.

Виявлені ефекти відповідають тенденціям, описаним у працях із ресурсоефективності деревообробки: найвищу економічну віддачу дає каскадне використання деревини з максимальним збереженням її якості; дрібні фракції – основа для біоенергетики або щитових конструкційних матеріалів. Наголос літератури на сортуванні та підготовці відходів як драйвері якості вторинної продукції також підтверджується нашими даними: саме ці етапи «розмикають» вузькі місця для ДСП/MDF і знижують втрати.

Результати чутливі до: щільності та вологості фракцій ($\pm 10\text{--}20\%$ змінюють як масу, так і енергетичний потенціал); цін на євробрус/піддони та гранули; тарифів полігону; технологічної готовності (наявність дробарок, пресів, сушарок). Для композитів потрібний контроль вмісту смол і дотримання умов безпечного використання. Тому економічні показники варто перевіряти аналізом чутливості та, за можливості, доповнювати LCA-оцінкою.

Практичні рекомендації для управління:

- Закріпити пріоритет механічного повторного використання обрізків (євробрус/піддони) як «якір» маржі.
- Для дрібних фракцій – гнучкий маршрут: біопаливо $\leftrightarrow$ ДСП/MDF залежно від ринкових цін та сезонного попиту.
- Посилити сортування на джерелі (окремі контейнери, контроль вологості), що знижує «втрати» до $<5\%$.
- Розглянути контрагування збуту для вторинних потоків (гранули, стружка, волокно) для зниження ризику цінової волатильності.
- Впровадити KPI: відведення від полігону (%), маржа/м³ відходів, CO₂-уникнено (т/рік), частка механічного повторного використання обрізків (%).

Для подальших досліджень доцільно провести: детальну вологісну й фракційну характеристику для уточнення енергетичних коефіцієнтів; пілотну Sankey-візуалізацію для планування потужностей; порівняльну економіку «біопаливо» за різних сценаріїв цін і вуглецевих факторів; тестування адсорбентів/наповнювачів із дрібних фракцій у локальних процесах (очищення, підстилки, композити).

Узагальнюючи, поєднання каскадного використання деревини з технологічно гнучкими маршрутами для дрібних фракцій забезпечує водночас високу економічну ($\approx 0,25$ млн грн/рік) і екологічну (95% відведення від полігону; 2,3–3,9 т CO₂-екв/рік) віддачу та створює базу для сталого розвитку меблевого підприємства.

Висновки

1. Визначено, що за 2022-2024 рр. загальний обсяг залишків та відходів зменшився з 54,80 м³ до 30,48 м³ ($\approx -44\%$), що підтверджує результативність упроваджених змін у розкрої, сортуванні та повторному використанні матеріалів.

2. Встановлено, що найбільший внесок у скорочення забезпечили тверді обрізки (з 35,23 до 19,58 м³, $\approx -44\%$). Для тирси спостерігалася незначне зростання у 2023 р. ($\approx +6\%$) з подальшим різким зменшенням у 2024 р. ($\approx -47\%$), стружка зменшилася з 7,65 до 4,24 м³ ($\approx -45\%$).

3. Обґрунтовано, що запропонована матеріально-балансова модель із пріоритетом механічного повторного використання обрізків (євробрус/піддони) та енергетичної/панельної утилізації дрібних фракцій (біопаливо, ДСП/MDF) забезпечила $\approx 95\%$ відведення від полігону ($\approx 28,95 \text{ м}^3$ з $30,48 \text{ м}^3$).

4. Розраховано, що сумарний річний економічний ефект у базовому сценарії становить $\approx 0,25$ млн грн (маржа напрямів $\approx 0,23$ млн грн + уникнені витрати на полігон ≈ 23 тис. грн). Найвищу віддачу формує лінійка євробрус/піддони, яка є «якорем» маржі. Рекомендовано дрібні фракції (тирса, стружка) доцільно спрямовувати на біопаливо та як сировину для плитних матеріалів (ДСП/MDF). Це стабілізує баланс відходів і зменшує потребу у первинній деревині без істотного зниження загальної маржі.

5. Розраховано, що енергетичне використання дрібних фракцій забезпечує $\approx 11,35$ МВт·год/рік корисної енергії та відвертає $\approx 2,29$ т CO_2 при заміщенні природного газу або $\approx 3,86$ т CO_2 при заміщенні вугілля. Разом з високою часткою відведення від полігону це формує значущий екологічний ефект. Обґрунтовано, що дані підтверджують гіпотезу про те, що раціональне повторне використання деревинних і композитних відходів знижує виробничі витрати, підвищує екологічну безпеку та створює додаткову продукцію з високою доданою вартістю.

6. З'ясовано, що технологічні процеси повинні включати: сортування на джерелі, контроль вологості/фракцій, гнучке маршрутизування дрібних фракцій між біопаливом і конструкційними матеріалами залежно від ринкових цін, а також контракування збуту вторинних потоків. Визначено, що подальше підвищення ефективності можливе через збільшення частки механічного повторного використання обрізків, встановлення/модернізацію лінії гранулування, поглиблене LCA-оцінювання, а також розширення застосувань дрібних фракцій як наповнювачів/адсорбентів у власних технологічних процесах.

References

1. **Bajpai, P.** Management of Pulp and Paper Mill Waste. – Springer, 2015. – 425 p.
2. **FAO Forestry Paper 179.** Wood energy. – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2010.
3. **Ferents O.B.** (2006). To develop science-based norms of wood consumption in the manufacture of joinery-building products / Report on research work]. – Lviv: UNFU, 2006. – 144 p. (in Ukrainian).
4. **Gayda S.V.** (2007) Research of concentration of operations is in modern furniture Productions. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 33, 73-79, (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/42073314>
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. <https://doi.org/10.36930/42103612>
6. **Gayda S.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). <https://doi.org/10.36930/421137121>
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. <https://doi.org/10.36930/42123822>
8. **Gayda S.V.** (2013) Resource-saving technologies of recycling of post-consumer wood. *Scientific Bulletin of NULES of Ukraine: Technology and Energy* 185(2), 271-280, (in Ukrainian).
9. **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). <https://doi.org/10.36930/42133909>
10. **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.
11. **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 June 23-26. 2013). TU Zvolen, 119-130.
12. **Gayda S.V.** (2013). The technological solutions for recycling of post-consumer wood. Proceedings of I International Conference (Ukraine, 14-16 March 2013) UNFU: Lviv, 5-11.

13. **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).
14. **Gayda S.V.** (2014). *Sposoby podgotovki k pererabotke vtorichno ispol'zuyemoy drevesiny iglofrezernymi i shchotochnymi stankami* [Preparation methods for processing of post-consumer wood needle-milling and brushing machines]. *Actual problems of forest complex* 40, 65-69.
15. **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.
16. **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* 38:212-216.
17. **Gayda S.V.** (2016). A investigation of form of stability of variously designed blockboards made of post-consumer wood // *ProLigno: Scientific Journal. «TRANSILVANIA» din Brasov*. 12(1).22-31.
18. **Gayda S.V.** (2016). Ecological and technological aspects of recycling post-consumer wood for production compacted materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry bulletin of MSFU* 20(3).15-22.
19. **Gayda S.V.** (2016). Research on physical and mechanical characteristics of front blockboards made from post-consumer wood // *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*. 42:33-50. doi: <https://doi.org/10.36930/42164206>
20. **Gayda S.V.** (2016). Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом [Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools]. *Bulletin of KhNTUA* 178:3-11(in Ukrainian).
21. **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.
22. **Gayda S.V.** (2017). 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>
23. **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 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174301>
24. **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 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184402>.
25. **Gayda S.V.** (2018). Strength of combined blockboard made of post-consumer wood (PCW). *Bulletin of KhNTUA* 197:3-9, (in Ukrainian).
26. **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).
27. **Gayda S.V.** (2023). Determination of the circularity indicator in the forest sector according to the principles of the circular economy . *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 49: 99-114, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234908>
28. **Gayda S.V.** (2023). State and analysis of the dynamics indicators of the production volume of the wood-working and furniture industry. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 49: 4-19 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234901>
29. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2018). Shape stability as a quality criterion for PCW-made blockboards. *Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine* 17:185-192 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.15421/412135>
30. **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>.
31. **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>.
32. **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.
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). <https://doi.org/10.36930/42073313>
34. **Gayda, S.** (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 June 29 – July 01. 2012)*. *TU Zvolen*, 108-121.

35. **Gayda, S.** (2011) The investigation of physical and mechanical properties of wood particleboards made from post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 37.2, 95-110. <https://doi.org/10.36930/421137221>
36. **Gayda, S., Dyak, T.** (2011). The analysis of economic efficiency of post-consumer wood use for particleboard manufacture for LLC Swisspan Limited // *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 37.2:129-136. doi: <https://doi.org/10.36930/421137221>
37. **Gayda, S.V.** (2007). Проблема деревної сировини у Європі та Україні / *Problema derevnoyi syrovyny u Yevropi ta Ukrayini* [A problem of arboreal raw material is in Europe and Ukraine]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 33:55-63 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/42073312>
38. **Hill, C. A. S.** Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes. – Wiley, 2006. – 260 p.
39. **Hoffman, S.; Dotson, N.; Lima, V.; Gray, Ch.** (2024). Hoffman et al., 2024_supplemental. figshare. Online resource. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.25122929.v2>
40. **Koryachko V.A., Kushpit A.S., Kushpit O.M., Andrashek Yo.V.** (2016). The study of the blockboard shape stability depending on the design. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 42: 28-33.
41. **Kozlowski, R., & Helwig, M.** Sustainable development of wood-based industries through utilization of residues // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 172. – P. 4184–4192.
42. **Kryvyk O.O., Mayevskyy V.O.** (2011) Dynamics of shape stability change for glued panels with a combination of different wood species. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 37(1), 30-33.
43. **Laufenberg T, Ayrilmis N, White R** (2006) Fire and bending properties of blockboard with fire retardant treated veneers. *Holz als Roh- und Werkstoff*. Vol. 64(2), 137–143.
44. **Lesiv L.E.** (2022). Study of the characteristics of combined of blockboards made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*. 48:69-86, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42214806>
45. **Malkapuram, R., Kumar, V., & Singh, N.** Recent development in natural fiber reinforced polypropylene composites // *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. – 2009. V. 28(10). – P. 1169–1189.
46. **Medvid L.M.** (2021). Post-consumer wood – an additional reserve of raw materials for construction materials. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 47:34-46, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42214706>
47. **Medvid L.V.** (2018). Systematization of wood waste – the basis of their effective use // *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 44: 91-104, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184412>
48. **Medvid L.V., Gayda S.V.** (2023). Determination of the strength indicators of normal blockboard made of post-consumer wood . *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 49: 85-98, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234907>
49. **Murray A., Skene K., Haynes K.** (2017) : The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *J. Bus. Ethics*, № 140(3). P. 369-380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>.
50. **Tuomasjukka D., Athanassiadis D. & Vis M.** (2017): Threefold sustainability impact assessment method comparison for renewable energy value chains, *International Journal of Forest Engineering*, 28:2, 116-122, doi: <https://doi.org/10.1080/14942119.2017.1318549>.
51. **Pásztory, Z., & Gorbacheva, G.** Utilization of wood industry wastes in composite materials // *European Journal of Wood and Wood Products*. – 2021. – Vol. 79(6). – P. 1371–1382.
52. **Podibka, T.I., & Kiyko, O.A.** (2019). 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. <https://doi.org/10.36930/42194521> (in Ukrainian).
53. **Suominen T., Kunttu J., Jasinevičius G., Tuomasjukka D. & Lindner M.** (2017). Trade-offs in sustainability impacts of introducing cascade use of wood, *Scandinavian Journal of Forest Research*,
54. **Titus, B.D., Brown, K., & Helmisaari, HS. et al.** (2021). Sustainable forest biomass: a review of current residue harvesting guidelines. *Energ Soc* 11, 10. <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00281-w>.
55. **Werner F., Taverna R., Hofer P., Thürig E., Kaufmann E.** (2010) : National and global greenhouse gas dynamics of different forest management and wood use scenarios: a model-based assessment. *Environ. Sci. Pol.*, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.10.004>.
56. **Gayda S.V.** (2011). Recovered wood is additional resource of raw material. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 37(1), 238-244. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/421137165>
57. **Гайда С.В.** Аналіз динаміки показників основних конструкційних матеріалів в контексті циркулярної економіки. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2024, вип. 50. – С. 29-40. doi: <https://doi.org/10.36930/42245003>
58. **Гайда С.В.** Аналіз тенденції основних показників деревозаготовчої галузі в контексті циркулярної економіки. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2024, вип. 50. – С. 4-15. doi: <https://doi.org/10.36930/42245001>

59. Гайда С.В. Аналіз тенденцій обсягів виробництва конструкційних матеріалів в Україні та Європі. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2025, вип. 51. – С. 33-48. doi: <https://doi.org/10.36930/42255103>
60. Гайда С.В. Визначення характеристик столярних плит із вживаної деревини: матеріали тез доповідей міжнародної НПК (05-06.06.2025 р.). – Харків : ДБТУ, 2025. – С. 118-120. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17079555>
61. Гайда С.В. Встановлення показника циркулярності в лісовому секторі: матеріали тез доповідей XIV Міжнародної НПК (23-24.05.2024). – Чернігів : НУ «ЧП», 2024. – Т.2. – С. 192-194.
62. Гайда С.В. Динаміка показників деревозаготівельної галузі в контексті циркулярної економіки. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2025, вип. 51. – С. 4-16. doi: <https://doi.org/10.36930/42255101>
63. Гайда С.В. Основи створення гнучких виробничих систем. Гнучкі автоматизовані виробництва та робототехніка в деревообробці: Ч.1. – Львів: ЦНТЕІ, 1998. – 149 с.
64. Гайда С.В. Реалізація принципів циркулярної економіки в лісовому секторі: матеріали тез Н-ПК (24-25.05.2025 р.). – Харків : ДБТУ, 2025. – С. 110-112. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15849808>
65. Гайда С.В. Технології вживаної деревини як дієві механізми для реалізації принципів циркулярної економіки: матеріали тез НПК (05-06.06. 2025). – Харків : ДБТУ, 2025. – С. 137-139.
66. Гайда С.В., Гузь М.М., Никитюк Л.О. Корневая древесина-источник дополнительного сырья для плитного производства. Тези (21-25.09.1992). Архангельск: ЦНИИМОД. – С. 88-89.
67. Гайда С.В., Кшивецький Б.Я. Оперативно-виробниче планування гнучких виробничих систем // Метод. вказівки. – Львів : ЦНТЕІ, 2000. – 29 с.
68. Гайда С.В., Кшивецький Б.Я. Проектування гнучких виробничих систем: Метод. вказівки. – Львів : ЦНТЕІ, 1998. – 34 с.
69. Гайда С.В., Лесів Л.Е. Міцність комбінованих столярних плит із вживаної деревини ялиці: матеріали тез доповідей всеукраїнської НПК (24-25.04.2025 р.). – Харків : ДБТУ, 2025. – С. 128-130. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15849808>
70. Гайда С.В., Лесів Л.Е. Побудова моделі міцності зрощених заготовок із вживаної деревини ялиці: матеріали тез Н-ПК (7-8.10.2024 р.). – Харків : ДБТУ, 2024. – С. 187-189. <https://biotechuniv.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/conf-07-08-10-24-mater.pdf>
71. Гайда С.В., Лесів Л.Е. Порівняльний аналіз комбінованих столярних плит із вживаної деревини: матеріали тез XIV МН-ПК (23–24.05.2024 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2024. – Т.1. – С. 215-217.
72. Гайда С.В., Медвідь Л.В. Дослідження міцності при статичному згині столярних плит із вживаної деревини: матеріали тез доповідей всеукраїнської НПК (7-8.10 .024 р.). – Харків : ДБТУ, 2024. – С. 193-195. <https://biotechuniv.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/conf-07-08-10-24-mater.pdf>
73. Гайда С.В., Медвідь Л.В. Міцність звичайних столярних плит із вживаної деревини: матеріали тез доповідей XIV МНПК (23–24 травня 2024 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2024. – Т.1. – С. 213-214.
74. Гайда С.В., Медвідь Л.В. Побудова математичної моделі міцності столярних плит різних конструкцій із вживаної деревини. Наукові праці Лісівничої академії наук України : зб. наук. праць. – 2024, вип. 27. – С. 180-189. <https://doi.org/10.15421/412426>
75. Гайда С.В., Медвідь Л.В. Технологія поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом: матеріали тез Н-ПК (24-25.05.2025 р.). – Харків : ДБТУ, 2025. – С. 134-136. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15849808>
76. Гайда С.В., Подібка Т.І. Вплив товщини рейок на формостійкість меблевих щитів: Матеріали тез доповідей XV МНПК (22-23.05.2025 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2025. – Т.1. – С. 184-186. <https://conference-chnihiv-polytechnik.com/kzyatps-2025/>
77. Гайда С.В., Подібка Т.І. Забезпечення площинності меблевих щитів із бука європейського: матеріали тез доповідей всеукраїнської НПК (24-25.04.2025 р.). – Харків : ДБТУ, 2025. – С. 137-139. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15849808>
78. Гайда С.В., Подібка Т.І. Формостійкість меблевих щитів із сосни звичайної: матеріали тез доповідей XIV Міжнародної НПК (23–24.05.24). – Чернігів : НУ «ЧП», 2024. – Т.1. – С. 211-212.
79. Гайда С.В., Удовичський О.М., Салабай Р.Г. Міцність столярно-будівельного погонажу із зрощених MDF-заготовок: Матеріали тез XV МН-ПК (22-23.05.2025 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2025. – Т.2. – С. 150-151. <https://conference-chnihiv-polytechnik.com/kzyatps-2025/>
80. Гайда С.В., Ференц О.Б. Порівняльний аналіз альтернативних технологій дерев'яного будинкобудування. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2025, вип. 51. – С. 49-63. doi: <https://doi.org/10.36930/42255104>
81. Гайда, С.В. Перспективи роботизації меблевої промисловості України. Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf-X. – 2003. – Вип. 11 – С. 36-37.

82. Гайда, С.В. Прогресивні плитні матеріали MDF та OSB. Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf-X. – 2004. – Вип. 1 – С. 30-32.
83. Гайда, С.В. Що нам важко стілець зробити? Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf-X. – 2004. – Вип. 3 – С. 44-52.
84. Гайда, С.В. Обладнання для прогресивних технологій розкрою деревини. Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf-X. – 2005. – Вип. 5 – С. 28-38.
85. Гайда С.В. Матеріали для виготовлення виробів з деревини: Навч. пос. – Л.: ВМС, 2000. - 160 с.
86. Киянка В.В., Гайда С.В. Визначення динаміки утворення деревинних залишків та відходів виробничої діяльності на ТзОВ «Фортуна-меблі». Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2024, вип. 50. – С. 103-116. doi: <https://doi.org/10.36930/42245009>
87. Удовиський О.М., Гайда С.В. Салабай Р.Г. Некондиційна деревина у бетонних виробках: Матеріали тез доповідей XV МНПК (22-23.05.25). – Чернігів : ЧП, 2025. – Т.2. – С. 141-142. <https://conference-chernihiv-polytechnik.com/kzyatps-2025/>
88. Лесів Л.Е., Гайда С.В. Залежність міцності зрощених заготовок від характеристик зубчастого з'єднання: Матеріали тез XV МН-ПК (22-23.05.2025 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2025. – Т.1. – С. 192-194. <https://conference-chernihiv-polytechnik.com/kzyatps-2025/>
89. Лесів Л.Е., Гайда С.В., Салапак Л.В. Розроблення математичної моделі міцності зрощених заготовок із вживаної деревини ялиці. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2024, вип. 50. – С. 16-28. doi: <https://doi.org/10.36930/42245002>
90. Максимів В.М., Гайда С.В. Аналіз, особливості, проблеми та досвід використання додаткових ресурсів сировини – відходів та вживаної деревини. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2007, вип. 33. – С. 63-73. <https://doi.org/10.36930/42073313>
91. Медвідь Л.В., Гайда С.В. Математична модель формостійкості звичайних столярних плит із вживаної деревини: Матеріали тез XV МН-ПК (22-23.05.2025 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2025. – Т.1. – С. 188-190. <https://conference-chernihiv-polytechnik.com/kzyatps-2025/>

UDC 674.001

*Director of LLC «Fortuna-mebli» V.V. Kyiynka;
prof. S.V. Gayda, Doktor of Sciences – UNFU*

Development of approaches for the utilization of wood residues and waste from the processing of wood and composite structural materials in furniture manufacturing at LLC «Fortuna-Mebli»

The paper addresses the generation and reuse of wood residues and composite waste in furniture manufacturing under the principles of a circular economy. The aim is to develop and substantiate effective recovery routes—mechanical reuse, panel production, and bioenergy—optimized against economic and environmental criteria. The methodology covers 2022-2024 flow accounting, waste classification (solid offcuts; fine fractions—sawdust, shavings), a plant-level mass-balance model with an allocation matrix, volume-to-mass conversions considering density and moisture, an economic model (revenues/costs/avoided landfill fees), energy and carbon assessment (LHV, emission factors), and sensitivity analysis. Results show a steady reduction of total waste from 54.80 m³ (2022) to 30.48 m³ (2024) (–44%), driven mainly by solid offcuts (35.23 to 19.58 m³). The proposed 2024 allocation achieves ≈95% landfill diversion (28.95 m³): prioritizing mechanical reuse of offcuts (glulam blocks/pallets/components) and directing fines to biofuel and secondary feedstock for PB/MDF. The baseline yearly economic effect reaches ≈UAH 0.25 million (including ≈UAH 0.23 million operating margin and ≈UAH 23k avoided landfill costs). The biofuel stream delivers ≈11.35 MWh/year and avoids ≈2.29 t CO₂ (if substituting natural gas) or ≈3.86 t CO₂ (coal). Scientific novelty lies in combining a cascade use strategy with an integrated, enterprise-level mass-balance model aligning technological, economic, and environmental indicators. Practical significance is a reproducible toolkit for waste management, capacity planning, and resource-efficiency KPIs deployment in furniture plants.

Keywords: furniture manufacturing; wood residues; composite waste; reuse; biofuel; particleboard; MDF; resource efficiency; landfill diversion; utilization, technology, used wood, circular economy, CO₂