

ФОРМУВАННЯ НАПРЯМКІВ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ДЕРЕВИННИХ ЗАЛИШКІВ ЛІСОВОГО СЕКТОРУ

Gayda S.V., Kyianka V.V.

FORMATION OF PROCESSING PATHWAYS FOR WOOD RESIDUES IN THE FOREST SECTOR

Узагальнено підходи до формування ефективних напрямків перероблення деревинних залишків у лісовому секторі на основі каскадного використання деревини та матеріально-балансового моделювання. Показано, що інтеграція механічного повторного використання, панельних матеріалів і біоенергетики забезпечує високу ресурсоефективність, значне відведення від полігону та суттєвий економічний ефект. Запропонована модель є масштабованою для підприємств різних ланок лісового комплексу.

Ключові слова: деревинні залишки, перероблення, лісовий сектор, циркулярна економіка, каскадне використання деревини, ДСП, MDF, біопаливо, ресурсоефективність.

Вступ. Лісовий сектор – від лісозаготівлі до меблевого виробництва – генерує значні обсяги деревинних залишків та відходів композитних матеріалів. У меблевому виробництві частка залишків деревини й композитів може сягати 30–40 % від загального обсягу використаної сировини, що призводить до зростання собівартості продукції, витрат на утилізацію та екологічного навантаження. Аналогічна ситуація спостерігається на підприємствах первинної обробки деревини, плитних матеріалів, будівельної індустрії, де деревинні потоки часто завершуються полігоном або неконтрольованим спалюванням.

Сучасні підходи до циркулярної економіки та «зеленої» трансформації лісового сектору вимагають переведення деревинних залишків у категорію повноцінного ресурсу з прозорими маршрутами перероблення: від механічного повторного використання до біоенергетики. На основі виробничих даних меблевого підприємства ТЗОВ «Фортуна-меблі» сформовано практичну модель, яка може бути масштабована на інші ланки лісового сектору та слугувати основою для формування напрямків перероблення деревинних залишків.

Метою роботи є обґрунтування підходу до формування напрямків перероблення деревинних залишків на основі матеріально-балансової моделі та каскадного використання, апробованих на прикладі меблевого підприємства.

Результати. Використано підхід, відпрацьований на даному меблевому підприємстві, з можливістю його масштабування на інші підприємства лісового сектору. Проаналізовано динаміку утворення залишків на ТзОВ «Фортуна-меблі» за 2022–2024 рр. і встановлено: загальний обсяг залишків та відходів зменшився з 54,80 м³ до 30,48 м³ ($\approx -44\%$); тверді обрізки – з 35,23 до 19,58 м³ ($\approx -44\%$); тирса – з 11,92 до 6,65 м³ (після проміжного зростання у 2023 р.); стружка – з 7,65 до 4,24 м³ ($\approx -45\%$). Це підтверджує, що системний підхід (оптимізація розкрою, сортування, повторне використання) дозволяє істотно зменшити обсяги відходів без зниження виробничих потужностей. Для лісового сектору це означає потенціал масштабованого скорочення залишків при правильній організації потоків від лісозаготівлі до кінцевого виробу.

Сформовано **напрямки перероблення** для обсягу 30,48 м³ у 2024 р., які передбачають наступне: допоміжні конструкційні елементи (СП, МЩ, ЄБ, піддони, комплектуючі) – 11,75 м³; сировина на ДСП (обрізки після подрібнення + частина стружки) – 4,9 м³; сировина на MDF (волокно з тирси) – 1,33 м³; біопаливо (гранули/брикет з тирси, стружки,) – 6,78 м³; компост – 0,64 м³; втрати/непридатні – лише 1,52 м³. Таким чином, $\approx 28,95$ м³ з 30,48 м³ ($\approx 95\%$) відведено від полігону. На рівні лісового сектору аналогічна структура може бути реалізована на: лісозаготівельних, лісопильних, плитних, меблевих, будівельних підприємствах із адаптацією часток до їхніх технологій.

Розраховано **економічний ефект**, який за прийнятою системою розподілу показав наступне: сумарний економічний ефект становить $\approx 0,25$ млн грн/рік; маржа від напрямів перероблення – $\approx 0,23$ млн грн/рік; уникнені витрати на полігон – ≈ 23 тис. грн/рік; «якір» маржі – лінійка євробрус/піддони та інші конструкційні елементи з твердих обрізків. Для лісового сектору це означає, що пріоритет має надаватися механічному повторному використанню деревини у продукції з високою доданою вартістю, а не прямій енергетичній утилізації.

З іншого боку маємо також **екологічний ефект**: диверсія від полігону – $\approx 95\%$ потоку; енергетичний еквівалент біопалива – $\approx 11,35$ МВт·год/рік; відвернені викиди CO₂ – $\approx 2,29$ т/рік (при заміщенні природного газу) або $\approx 3,86$ т/рік (при заміщенні вугілля). Такі результати демонструють, що правильно організовані маршрути перероблення деревинних залишків здатні одночасно знизити вуглецевий слід підприємств і підвищити їхню економічну стійкість..

На основі отриманих розрахунків та принципів каскадного використання деревини сформовано базові **напрямки для лісового сектору**:

- Механічне повторне використання твердих залишків: Столярні плити, меблеві щити, євробрус, піддони, допоміжні конструкційні елементи. Застосування на меблевих, будівельних, тарних підприємствах. Це головний напрям формування доданої вартості та «якір» маржі.

- Сировина для щитових матеріалів: Напрямки: ДСП, MDF та інші плитні композити з використанням подрібнених залишків, що дає змогу закривати внутрішні потреби у сировині та зменшувати тиск на первинну деревину.

- Біоенергетика (біопаливо): Гранули та брикети з тирси та стружки, а також частини обрізків, непридатних для механічного циклу. Формує стабільний

маршрут утилізації дрібних фракцій і створює додатковий енергетичний ресурс для підприємства чи регіональної енергосистеми.

- Адсорбенти, підстилки, компости: Використання дрібнодисперсних фракцій як наповнювачів, підстилкових матеріалів, компонентів компосту, що особливо актуально для фірм, що мають локальних споживачів матеріалів.

- Інтегроване управління потоком вживаної деревини: Включення в модель конструкцій, що повертаються після експлуатації (вживана деревина будівель, меблів, тари). Їх включення в ті ж напрямки: повторне використання, панелі, біопаливо – з урахуванням вимог до безпечності та забруднень.

Практичні рекомендації для лісового сектору. Закріпити на рівні підприємств та кластерів пріоритет механічного повторного використання твердих залишків над їх енергетичним спалюванням. Для дрібних фракцій тирси та стружки впровадити гнучку маршрутизацію між біопаливом та плитними матеріалами залежно від ринкових цін на енергоносії та панельну продукцію. Стандартизувати класифікацію потоків (обрізки, тирса, стружка) на всіх етапах лісового сектору, запровадивши обов'язкове роздільне збирання та облік. Використовувати матеріально-балансові моделі та цифрові інструменти для планування потужностей, моделювання сценаріїв перероблення, оцінки економічних та екологічних KPI.

Висновки. На основі виробничих даних меблевого підприємства показано, що системний підхід до управління деревинними залишками дозволяє зменшити їх обсяг на $\approx 44\%$ за три роки та забезпечити $\approx 95\%$ відведення від полігону. Матеріально-балансова модель із матрицею розподілу потоків і пріоритетом механічного повторного використання твердих обрізків формує значний економічний ефект ($\approx 0,25$ млн грн/рік) і стабільний екологічний результат (зменшення викидів CO_2 , енергетичний еквівалент $\approx 11,35$ МВт·год/рік). Запропонований підхід є універсальним для лісового сектору: він може бути масштабований на лісозаготівельні, лісопильні, плитні, меблеві та будівельні підприємства, а також розширений на потоки вживаної деревини.

Список використаних джерел

1. Gayda, S. V., Kiyko, O. A., & Guz, M. M. (2022). Comparative studies of the macro- and microstructures of stump-root wood and stemwood. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 64(3), 131-142. <https://doi.org/10.2478/ffp-2022-0013>
2. Gayda, S. V., Kushpit, A. S., & Huber, Yu. M. (2023). Analysis of implementation of Industry 4.0 principles in furniture production. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 49, 73–84. <https://doi.org/10.36930/42234906>
3. 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. <https://doi.org/10.36930/42234907>
4. Gayda, S. V. (2018), MDF Facade Technologies. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 44, 72-82. <https://doi.org/10.36930/42184410>
5. Gayda, S. V., & Ferents, O. B. (2025). Comparative analysis of alternative technologies for wooden house construction. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 51, 49-63. <https://doi.org/10.36930/42255104>

6. Gayda, S. V., & Kiyko, O. A. (2020). The investigation of properties of blockboards made of post-consumer wood. *Poznan , Drewno*, 63(206), 77-102. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.352.10>.
7. Gayda, S. V. (2007). Research of concentration of operations is in modern furniture Productions. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 33, 73–79. <https://doi.org/10.36930/42073312>
8. Gayda, S. V. (2007). A problem of arboreal raw material is in Europe and Ukraine. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 33, 60–63. <https://doi.org/10.36930/42073314>
9. Gayda, S. V. (2016). Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle–milling tools. *Bulletin of KhNTUA*, 178, 3–11. [In Ukrainian]. URL: <https://repo.btu.kharkiv.ua/items/1cd3f001-fcc1-4b17-8b02-c81061b98bb3>.
10. 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/10.36930/4217430_1
11. 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. <https://doi.org/10.36930/42234908>
12. Gayda, S. V. (2023). State and analysis of the dynamics indicators of the production volume of the woodworking and furniture industry. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 49, 4–19. <https://doi.org/10.36930/42234901>
13. Gayda, S. V. (2024). Analysis of the trend of the main indicators of the wood processing industry in the context of the circular economy. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 50, 4–15. <https://doi.org/10.36930/42245001>
14. Gayda, S. V. (2025). Analysis of trends in the production volumes of construction materials in Ukraine and Europe. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 51, 33–48. <https://doi.org/10.36930/42255103>
15. Gayda, S. V. (2025). Dynamics of the wood harvesting industry in the context of the circular economy. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 51, 4–16. <https://doi.org/10.36930/42255101>
16. 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>
17. Gayda, S. V., & Kiyko, O. A. (2021). Properties of used wood as a determining factor in the quality of furniture products. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 23, 152–162. <https://doi.org/10.15421/412135>
18. Gayda, S. V., & Kiyko, O. A. (2023). Study of Physical and Mechanical Properties of Post-Consumer Wood of Different Age. *Drewno. Prace naukowe. Doniesienia. Komunikaty*, 66(212), article ID 00010. <https://doi.org/10.53502/wood-177453>
19. Gayda, S. V., & Kyryanka, V. V. (2025). 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–Meбли". *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 51, 109–123. <https://doi.org/10.36930/42255108>
20. Gayda, S. V., & Lesiv, L. E. (2023). Mathematical model of forecasting volumes of post-consumer wood production. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 49, 33–47. <https://doi.org/10.36930/42234903>
21. Gayda, S. V., & Medvid, L. V. (2024). Construction of the mathematical model of the strength of post-consumer wood made blockboard of different designs. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 27, 189–198. <https://doi.org/10.15421/412424>
22. Заячук, В.Я. (2003). Дендрологія. Хвойні: навч. посібн. Львів: Фірма Камула, 128 с. https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=PmXnWewAAAAJ&citation_for_view=PmXnWewAAAAJ:O3NaXmp0MMsC

23. Заячук, В.Я. (2005). Дендрологія. Голонасінні. *Львів: Фірма Камула*, 176 с.
https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=PmXnWewAAAAJ&citation_for_view=PmXnWewAAAAJ:YFjsv_pBGBYC
24. Погрібний, О.О., Заячук, В.Я. (2017). Сосна звичайна в лісах Українських Карпат. *Монографія. Косів: Писаний камінь*, 192 с.
https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=PmXnWewAAAAJ&citation_for_view=PmXnWewAAAAJ:isC4tDSrTZIC