

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГНОЗОВАНИХ ОБСЯГІВ НАКОПИЧЕННЯ ВЖИВАНОЇ ДЕРЕВИНИ

Gayda S.V., Lesiv L.E.

DETERMINATION OF FORECASTED VOLUMES OF POST-CONSUMER WOOD ACCUMULATION

Представлено методику та математичну модель прогнозування обсягів накопичення вживаної деревини в Україні на основі статистичних показників її утворення за різними джерелами. Запропонована класифікація вживаної деревини за ступенем забруднення та розрахункові залежності дають змогу точно оцінювати потенціал цього ресурсу та визначати напрями його ефективного матеріального й енергетичного використання. Результати дослідження формують наукове підґрунтя для впровадження принципів циркулярної економіки у лісовому секторі.

Ключові слова: вживана деревина, класифікація, математична модель, прогнозування, баланс відходів, деревинний ресурс, утилізація, циркулярна економіка.

Актуальність. Сучасні темпи економічного зростання та споживання деревини в Європі й Україні загострюють проблему дефіциту первинної деревинної сировини та нераціонального поводження з відходами. Одночасно зростає обсяг відходів деревини та виробів з неї, які після завершення терміну експлуатації перетворюються у вживану деревину (ВЖД, англ. post-consumer wood, PCW). ВЖД є потенційно цінним додатковим деревинним ресурсом, який може бути залучений до матеріального та енергетичного використання в рамках концепцій ресурсозбереження, циркулярної економіки та декарбонізації. Однак відсутність національної системи класифікації та статистичного обліку ВЖД, а також бракує інструментів кількісного прогнозування її утворення та накопичення за джерелами походження, ускладнює прийняття управлінських рішень. Тому завдання науково обґрунтованого визначення прогнозованих обсягів накопичення вживаної деревини на рівні країни є ключовим елементом формування політики у сфері поводження з відходами деревини, планування інфраструктури перероблення, створення нових деревинних матеріалів і розвитку ринку вторинної сировини.

Мета роботи – побудова математичної моделі, яка дозволяє прогнозувати обсяги утворення та накопичення вживаної деревини в Україні за основними

джерелами її походження й оцінювати потенціал цього ресурсу для матеріального й енергетичного використання.

На основі аналізу європейських нормативів та наукових досліджень встановлено, що базовим критерієм класифікації ВЖД є ступінь її хімічного та матеріального забруднення. Запропоновано впровадити для українського законодавства класифікацію, узгоджену з підходами Німеччини, Австрії, Польщі та інших країн ЄС: ВЖД-I – природна та лише механічно оброблена деревина; ВЖД-II – оброблена деревина і деревні матеріали без речовин захисту та без галогеноорганічних сполук у покриттях; ВЖД-III – оброблена деревина і деревні матеріали без речовин захисту, але з галогеноорганічними сполуками в покриттях; ВЖД-IV – деревина та деревні матеріали, оброблені речовинами захисту (антисептики, антипірени тощо).

На основі багаторічних досліджень встановлено середньозважені річні частки ВЖД від відповідних секторів: від торгівельної мережі (V_T) коливається в межах 14-16 %, будівництва (V_B) – 20-24 %, сировинних та деревообробних галузей (V_D) – 6-10 %, спожитих (старих) меблевих виробів (V_M) – 10-16 %, МВ (V_{MB}) – 16-18 %, ТПВ ($V_{ТПВ}$) – 16-22 %, інших надходжень (V_{IH}) – 6-8 %.

Загальний річний баланс ВЖД за походженням описано виразом:

$$V_{ВЖД} = V_T + V_B + V_D + V_M + V_{MB} + V_{ТПВ} + V_{IH} \quad (1)$$

Для кожного сумарного показника на основі статистики за 2015–2023 рр. отримано апроксимуючі степеневі залежності. Щоб уникнути великих коефіцієнтів, роки розрахунку закодовано: за нуль прийнято 2019 рік, а $N=\pm 1 \dots \pm 5$ відповідає сусіднім рокам.

Узагальнена модель утворення ВЖД за складовими має вигляд:

$$V_{ВЖД(N)} = 0,26N_T^{0,10} + 0,38N_B^{0,11} + 0,19N_D^{-0,16} + 0,17N_M^{0,31} + 0,33N_{MB}^{0,034} + 0,41N_{ТПВ}^{-0,06} + 0,15N_{IH}^{-0,013} \quad (2)$$

Узагальнений прогнозний вираз для сумарних обсягів ВЖД набув вигляду:

$$V_{ВЖД(N)} = 1,88N^{0,058} \quad (3)$$

Якщо відокремити складову ТПВ та пов'язати решту з щорічною кількістю ліквідної деревини V_3 , то отримаємо практичну формулу для оцінки ВЖД:

$$V_{ВЖД} = 0,13V_3 + 0,03V_{ТПВ} \quad (4)$$

Формули (2)–(4) надають інструмент швидкого прогнозу прогнозованих обсягів утворення й накопичення ВЖД на основі доступних національних статистичних рядів щодо заготівлі ліквідної деревини та обсягів ТПВ.

За результатами моделей та статистичних даних встановлено, що потенціал ВЖД в Україні у 2023 р. становив близько 1,783 млн т. За чисельності населення близько 30 млн осіб це відповідає 59,4 кг ВЖД на одну особу за рік.

Регіональна деталізація показала, що у Львівській області потенційний обсяг утворення ВЖД становить приблизно 110 тис. т/рік, що підтверджує значущість цього ресурсу для регіональної політики поводження з відходами та розвитку деревообробного комплексу.

Висновки. Встановлено, що вживана деревина є суттєвим додатковим деревинним ресурсом, обсяги якого зростають паралельно з розвитком будівництва, деревооброблення, торгівлі та підвищенням добробуту населення.

Запропоновано національну класифікацію ВЖД за ступенем забруднення на чотири категорії (ВЖД-I – ВЖД-IV) та відходи ліквідації ВЖД-ПХБ, узгоджену з європейськими підходами, що прямо пов'язує категорію ВЖД з можливими технологічними маршрутами її перероблення. На основі статистичних даних за 2015–2023 рр. розроблено математичну модель прогнозування обсягів утворення (накопичення) ВЖД, яка враховує основні фактори: заготівлю ліквідної деревини, будівництво, обробні галузі, торгівлю, споживання меблів, муніципальні відходи й ТПВ. Показано, що у 2023 р. потенціал ВЖД в Україні становив близько 1,783 млн т, або 59,4 кг на одного мешканця, що підтверджує значущість цього ресурсу для реалізації принципів циркулярної економіки. Виявлено, що основний внесок у формування ВЖД забезпечують сектор будівництва, муніципальні відходи, ТПВ та спожиті меблі, а категорії ВЖД-II і ВЖД-III формують основну частку ресурсу, придатного до матеріального використання. Запропонована методика та моделі дають змогу оперативно прогнозувати прогнозовані обсяги накопичення ВЖД, планувати потужності переробних підприємств, оцінювати ефект від змін у нормативному регулюванні та соціально-економічних умовах. Обґрунтовано стратегічні напрями використання ВЖД для виробництва столярних плит, меблевих щитів, деревностружкових плит та біопалива, що забезпечує формування раціонального кругообігу деревинних ресурсів і зменшення техногенного навантаження на довкілля.

Список використаних джерел

1. 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>
2. 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>
3. 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>
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., & 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>
12. 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>
13. 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>
14. 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>
15. 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>
16. 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>
17. 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>
18. 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>
19. 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>
20. 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-Mebli". *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 51, 109–123. <https://doi.org/10.36930/42255108>
21. 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>
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. Іванюк, А.П., Заячук, В.Я., Харачко, Т.І., Колодій, Т.В., М'якуш, Б.М. (2021). Фізичні властивості деревини павлової повстистої (*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud.). *Науковий вісник НЛТУ України*, 31(4), 71–75. <https://doi.org/10.36930/40310411>
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