

ОЦІНКА РІВНЯ КАСКАДНОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВИНИ В УКРАЇНІ ТА КРАЇНАХ СВІТУ

©2026 ПЕРЕПЕЛІЦИН Г. Б.

УДК 338.012
JEL: L73; O11

Пере́пеліцин Г. Б. Оцінка рівня каскадного використання деревини в Україні та країнах світу

Метою статті є розробка методичного підходу до оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості України та країн світу. Визначено, що збільшення каскадного використання деревини сприятиме підвищенню ефективності використання ресурсів і, як наслідок, зменшенню тиску на навколишнє середовище. Сформовано систему показників для інтегрального оцінювання рівня каскадності деревообробної промисловості країн світу. Запропоновано здійснювати інтегральну оцінку рівня каскадності деревообробної промисловості країн світу за чотирма компонентами: сталість ресурсної бази для деревообробної промисловості; ефективність первинної переробки деревини; використання вторинної та рекуперованої сировини; енергетичне використання біомаси. Результати розрахунків інтегрального показника показали суттєву диференціацію країн світу за рівнем каскадного використання деревини. Україна зі значенням інтегрального показника 0,2870 посіла 24 місце серед 36 досліджуваних країн та увійшла до групи країн із низьким рівнем каскадності деревообробної промисловості. Найкращі позиції Україна мала за компонентами «Сталість ресурсної бази» (22 місце) та «Енергетичне використання біомаси» (16 місце), а низькі позиції – «Ефективність первинної переробки» (29 місце) та «Використання вторинної та рекуперованої сировини» (28 місце). З використанням кластерного аналізу (k-середніх) було здійснено класифікацію країн світу за значенням компонент інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості. За результатами проведеної кластеризації досліджувані країни було розділено на два кластери. На групування країн у виділені кластери найбільший вплив чинили компоненти «Сталість ресурсної бази» та «Енергетичне використання біомаси», а найменший – «Використання вторинної та рекуперованої сировини». Україну віднесено до другого кластера, куди увійшли країни, які мають низькі значення за всіма компонентами, що дозволяє класифікувати їх як групу з низьким рівнем каскадності деревообробної промисловості.

Ключові слова: деревообробна промисловість, циркулярний підхід, сталий розвиток, каскадне використання деревини, інтегральна оцінка, кластери, біомаса, ефективність переробки.

Рис.: 6. Табл.: 1. Бібл.: 24.

Пере́пеліцин Григорій Борисович – аспірант Науково-дослідного центру індустріальних проблем розвитку НАН України (пров. Інженерний, 1а, 2 пов., Харків, 61166, Україна)

E-mail: pgboris@in.ua

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7821-7827>

UDC 338.012
JEL: L73; O11

Perepelitsyn H. B. Assessing the Level of Cascading Wood Use in Ukraine and Worldwide

The aim of the article is to develop a methodological approach for assessing the level of cascading use in the woodworking industry in Ukraine and other countries. It has been defined that increasing the cascading use of wood will enhance resource use efficiency and, as a result, reduce environmental pressure. A system of indicators has been developed to provide an integrated assessment of the level of cascading use in the global woodworking industry. It is proposed to carry out the integrated assessment of the level of cascading use in the woodworking industry of countries worldwide based on four components: sustainability of the resource base for the woodworking industry; efficiency of primary wood processing; use of secondary and recovered raw materials; energy utilization of biomass. The results of the calculations of the integral indicator showed significant differentiation of countries worldwide in terms of the level of cascading wood use. Ukraine, with an integral indicator value of 0.2870, ranked 24th out of 36 countries studied and was included in the group of countries with a low level of cascading in the woodworking industry. Ukraine scored best in the components «Resource Base Sustainability» (22nd place) and «Energy Use of Biomass» (16th place), while it ranked low in «Primary Processing Efficiency» (29th place) and «Use of Secondary and Recovered Raw Materials» (28th place). Using cluster analysis (k-means), the classification of world countries was carried out based on the component values of the integral indicator assessing the level of cascading in the woodworking industry. According to the results of the clustering, the studied countries were divided into two clusters. The grouping of countries into designated clusters was most influenced by the components «Sustainability of the resource base» and «Energy use of biomass», and least influenced by «Use of secondary and recovered raw materials». Ukraine was placed in the second cluster, which included countries with low values across all components, allowing them to be classified as a group with a low level of cascading use in the woodworking industry.

Keywords: woodworking industry, circular approach, sustainable development, cascading use of wood, integrated assessment, clusters, biomass, processing efficiency.

Fig.: 6. Tabl.: 1. Bibl.: 24.

Perepelitsyn Hryhorii B. – Postgraduate Student of the Research Centre for Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (2 floor 1a Inzhenyri Ln., Kharkiv, 61166, Ukraine)

E-mail: pgboris@in.ua

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7821-7827>

Сучасна парадигма сталого розвитку визначає необхідність фундаментального перегляду підходів до використання природних ресурсів, серед яких лісова біомаса посідає ключове місце як відновлюваний, але обмежений ресурс. Розвиток деревообробної галузі в умовах глобальних кліматичних викликів та переходу до кліматичної нейтральності вимагає впровадження принципів циркулярної економіки, де особливий акцент зміщується на каскадне використання деревини.

Лісовий сектор охоплює як біологічні, так і технічні цикли циркулярної економіки й має високий потенціал для впровадження циркулярної біо-економічної моделі. Проте в загальній циклічності ланцюжків доданої вартості лісової галузі зберігаються певні виклики, зумовлені традиційними методами функціонування сектора.

Для забезпечення сталості ланцюжків доданої вартості в лісовому секторі необхідні безперервний аналіз і координація аспектів циркулярності на всіх етапах їхнього функціонування. Життєздатною відправною точкою для цього є принципи сталого управління лісами (*SFM – Sustainable Forest Management*) з подальшим оптимізованим каскадним використанням деревини на кожній стадії виробництва та завершальним етапом утилізації (рекуперації) деревини після споживання наприкінці ланцюжків доданої вартості [1].

Серед учених, які досліджували сутність, принципи циркулярної економіки, можна назвати: Geissdoerfer M. та ін. [2], Korhonen J. та ін. [3], Kircherr J. та ін. [4], Vocken N. M. P. та ін. [5] Салашенко Т. І., Самойленко В. С. [6], Шкуренко О. В. [7], Швець А. І. [8] та інших. Теоретико-методичне забезпечення оцінки стану, визначення проблем і перспектив розвитку деревообробної промисловості України та країн світу, формування циркулярних бізнес-моделей, інтеграції циркулярних принципів у секторах економіки, поведження з відходами представлені в роботах Кизима М. О., Губаревої І. О., Трушкіної Н. В., Хаустової В. Є. [9–11]. Належно оцінивши розробки учених, констатовано, що потребують подальшого дослідження науково-методичні підходи до оцінки рівня каскадного використання деревини.

Метою статті є розробка методичного підходу до оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості України та країн світу.

Концепцію каскадного використання ресурсів вперше теоретично обґрунтували та системно описали T. Sirkin, M. ten Houten у 1994 р. [12] у контексті сталого управління ресурсами. У подальшому вона набула широкого наукового та політичного визнання як структурний елемент формування політики біоекономіки та циркулярної економіки [1].

В огляді каскадного використання деревних продуктів, проведеного Всесвітнім фондом природи (ВФП) у співпраці з компанією Mondi [13], визначено, що каскадне використання – це стратегія використання сировини, такої як деревина або інша біомаса, хронологічно послідовними кроками якомога довше, частіше та ефективніше для матеріалів, і лише для отримання з них енергії в кінці життєвого циклу продукту. Мета полягає в тому, щоб збільшення каскадного використання деревини сприяло підвищенню ефективності використання ресурсів і, як наслідок, зменшенню тиску на навколишнє середовище.

В аналітичному звіті Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО) щодо оцінки лісів як ключового елемента для екологічної стабільності, економічної стійкості та соціальної інклюзії зазначається, що додавання вартості вздовж каскаду використання продукції може подовжити життєві цикли матеріалів, зменшити первинний попит на сировину та збільшити час депонування вуглецю, тим самим сприяючи сталому використанню лісової продукції. Деревні відходи промислової переробки кругляка можуть бути цінним ресурсом, якщо вони використовуються як сировина для інших видів продукції та, зрештою, для генерації енергії, замінюючи менш сталі джерела енергії [14].

У дослідженні Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО) та Європейської економічної комісії ООН (ЄЕК ООН) [1] каскадне використання деревини трактується як «ефективна утилізація ресурсів шляхом використання залишків та вторинної сировини для матеріального споживання з метою розширення загальної доступності біомаси в межах заданої системи».

Відповідно до цього визначення каскадне використання деревини передбачає застосування принципів ієрархічного використання ресурсів, за якого високоякісна сировина спрямовується на виробництво продукції з високою доданою вартістю, тоді як для товарів із нижчою вартістю застосовуються деградовані форми сировини в міру її багаторазового перероблення впродовж життєвого циклу. Енергетичне використання (зокрема, спалювання) розглядається як завершальна стадія каскаду після вичерпання матеріального потенціалу.

В оновленій Директиві ЄС з відновлюваних джерел енергії (Renewable Energy Directive (RED III)) [15] зазначено, що згідно з принципами каскадного використання біомаси, деревна біомаса повинна використовуватися відповідно до її найвищої економічної та екологічної доданої цінності в такому порядку пріоритетів: виробни на основі

деревини, продовження терміну служби виробів на основі деревини, повторне використання, переробка, біоенергія та утилізація. Там, де жодне інше використання деревної біомаси не є економічно вигідним або екологічно доцільним, відновлення енергії допомагає зменшити виробництво енергії з невідновлюваних джерел.

Відділ лісової політики та ресурсів FAO вбачає, що позитивні наслідки впровадження каскадного використання та циклічності в деревообробному секторі включають [16]:

- ✦ відокремлення економічного зростання від кількісного використання ресурсів шляхом сприяння запобіганню утворенню відходів, екодизайну, повторному використанню та переробці;
- ✦ вилучення та створення більшої доданої вартості з деревини завдяки ресурсо- та енергоефективності;
- ✦ визначення нових способів використання деревних ресурсів та їх використання;
- ✦ перетворення більшої кількості «відходів» лісової біомаси на біопродукти, що сприяють циркулярній біоекономіці;
- ✦ покращення як екологічного впливу, так і якості продукції;
- ✦ урахування очікувань громадян і споживачів стосовно сталих ланцюгів створення вартості деревини та формування «стратегій прогресу»;
- ✦ надання споживачам доказів того, що сталий розвиток використовується на кожному етапі життєвого циклу продукту до його придбання, від управління лісами, заготівлі деревини, подрібнення деревини, виробництва до упаковки та доставки.

Для узагальненої первинної кількісної оцінки каскадного використання деревини найчастіше на практиці застосовується так званий «каскадний фактор» [17]. Цей коефіцієнт каскадного використання визначається як відношення загального обсягу спожитої деревини (включно з деревними відходами, вторинною та круглою деревиною) до обсягу круглої деревини. Чим вищим є значення цього коефіцієнта, тим ефективніше країна реалізує принцип каскадного використання деревини [18; 19].

Більш детальним інструментарієм кількісної оцінки каскадного використання деревини є метод аналізу матеріальних потоків (*Material Flow Analysis – MFA*) щодо використання деревини, який дозволяє відстежувати рух деревини від лісозаготівлі через усі стадії промислової обробки до споживання та утилізації [20]. Цей метод передбачає побудову картограм потоків деревини, де відображаються всі входи та виходи на кожному етапі

від вирощування до завершення життєвого циклу. Це дозволяє візуалізувати та кількісно оцінити, скільки деревини направляється в кожен з можливих каскадних потоків [17].

Найбільш деталізованим методом кількісної оцінки каскадного використання деревини є модель ресурсного балансу деревини (*Wood Resource Balance*) [20]. Вона базується на методі «зворотного аналізу», де обсяги сировини розраховуються не на основі даних статистики лісозаготівлі, а на основі фактичного споживання виробниками промислової деревини, залишків та переробленої деревини. Таким чином, можна простежити весь шлях від продукту до сировини. Цей підхід дозволяє ідентифікувати «невидимі» потоки, такі як побічні продукти лісопиляння та вторинна деревина після споживання.

Іншим поширеним методом оцінки каскадного використання деревини є аналіз життєвого циклу (*LCA*), який дозволяє кількісно визначити не лише обсяги сировини та показники енергоефективності, а й екологічний вплив протягом усього життєвого циклу деревних продуктів [21].

Наведені вище методи щодо оцінки каскадності деревообробної промисловості розроблялися переважно для національних або галузевих досліджень, що спираються на деталізовані галузеві опитування та специфічні коефіцієнти конверсії. Тому їхнє застосування для порівняння каскадного використання деревини між країнами супроводжується суттєвими методологічними проблемами: різною статистичною класифікацією лісових ресурсів та деревної продукції, відмінностями в підходах до обліку вторинної деревини та побічних продуктів, а також нерівномірною доступністю первинних даних.

Порівняльний аналіз каскадного використання деревини між країнами потребує показників, що є статистично зіставними, доступними для більшості держав і розрахованими за єдиною методологією. Тому доцільним є порівняння каскадного використання деревини між країнами на основі статистичних баз даних Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO): «Лісове виробництво та торгівля» [22] та «Глобальної оцінки лісових ресурсів 2025» [23]. Використання цих джерел забезпечує міжнародну порівняльність результатів завдяки уніфікованим визначенням і класифікаціям продуктів лісового господарства.

Виходячи з проведеного вище дослідження сутності каскадного використання деревини в рамках циркулярного підходу, інтегральну оцінку рівня каскадності деревообробної промисловості країн світу в роботі пропонується проводити за допомогою такої системи показників (*рис. 1*).



Рис. 1. Система показників для інтегральної оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості країн світу

Джерело: розроблено автором.

З рис. 1 видно, що інтегральна оцінка рівня каскадності деревообробної промисловості країн світу здійснюється на основі 12 часткових показників, згрупованих у чотири компоненти, які характеризують сталість ресурсної бази для деревообробної промисловості, ефективність первинної переробки деревини, використання вторинної та рекуперованої сировини та енергетичне використання біомаси.

На рис. 2 представлено розподіл України та країн світу за значенням інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості у 2024 р.

З рис. 2 видно, що за значенням інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості у 2024 р. до країн з високим рівнем було віднесено: Корею – 0,7259 (1 місце), Канаду – 0,6008 (2 місце), Бельгію – 0,5456 (3 місце), Швецію – 0,5247 (4 місце) та Словаччину – 0,5088 (5 місце), а до країн з найнижчим рівнем: Мексику – 0,1437 (36 місце), Індію – 0,1446 (35 місце), Угорщину – 0,1698 (34 місце), Австралію – 0,2006 (33 місце) та Туреччину – 0,2145 (32 місце). Серед 36 досліджуваних країн світу Україна у 2024 р зі значенням інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості 0,2870 посіла 24 місце.

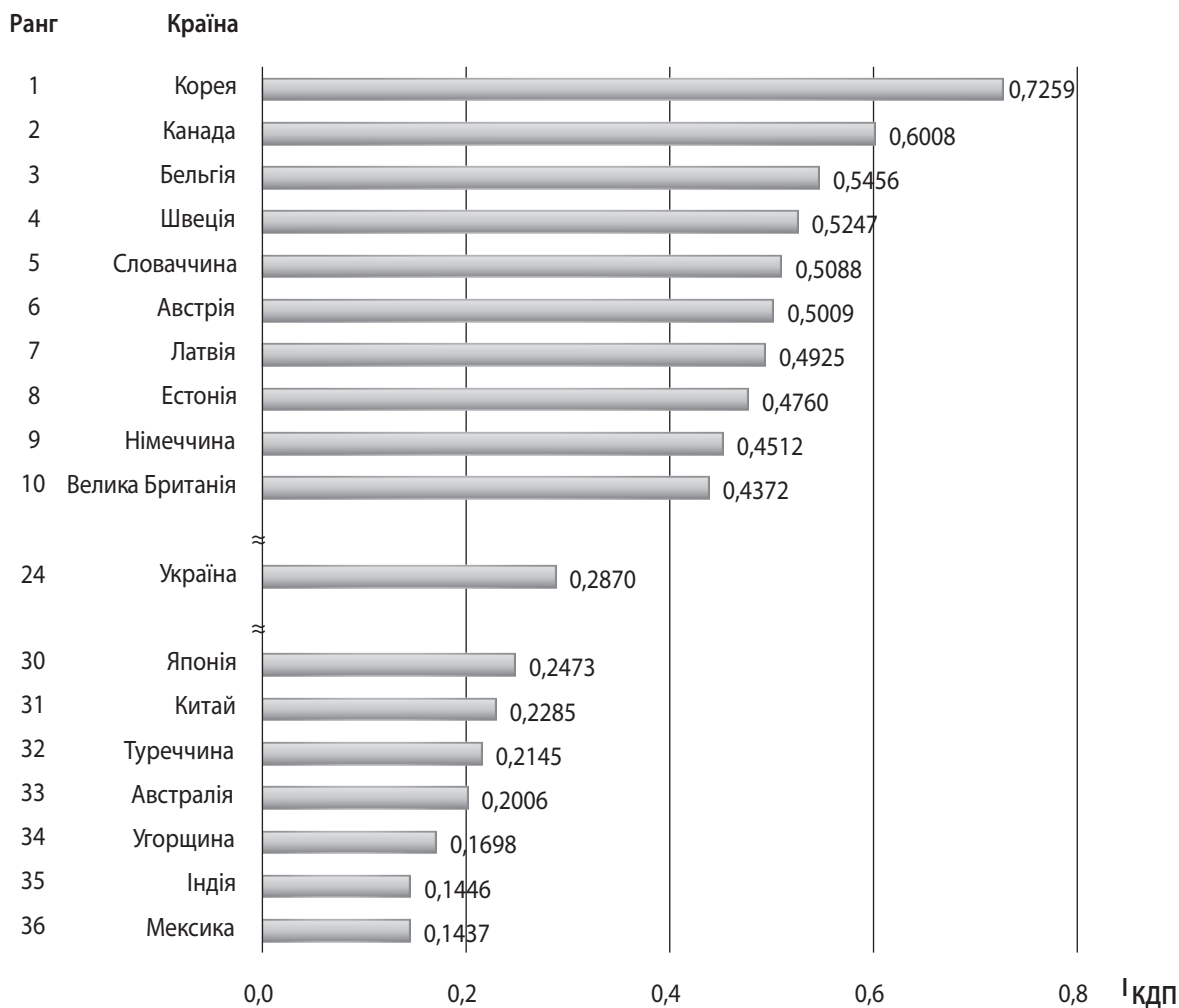


Рис. 2. Діаграма розподілу України та країн світу за значенням інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості у 2024 р.

Джерело: розраховано автором.

Дослідимо компоненти інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості України та країн світу.

Розподіл України та країн світу за значенням компоненти «Сталість ресурсної бази» інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості України та країн світу наведено на *рис. 3*.

З *рис. 3* видно, що до групи країн з високим рівнем компоненти «Сталість ресурсної бази» було віднесено: Фінляндію – 0,8265 (1 місце), Швецію – 0,7568 (2 місце), Естонію – 0,6777 (3 місце), Австрію – 0,6753 (4 місце) та Латвію – 0,5788 (5 місце), а до групи країн з низьким рівнем даної компоненти: Австралію – 0,1748 (36 місце), Індію – 0,1829 (35 місце), Мексику – 0,1888 (34 місце), Китай – 0,2486 (33 місце) та США – 0,2528 (32 місце). Україна у 2024 р. зі значенням компоненти «Сталість ресурсної бази» інтегрального показника оцінки рівня

каскадності деревообробної промисловості 0,3676, посіла 22 місце серед 36 досліджуваних країн світу.

Розподіл України та країн світу за значенням компоненти «Ефективність первинної переробки деревини» інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості України та країн світу наведено на *рис. 4*.

З *рис. 4* видно, що до групи країн з високим рівнем компоненти «Ефективність первинної переробки деревини» було віднесено: Фінляндію – 0,7984 (1 місце), Канаду – 0,7869 (2 місце), Естонію – 0,7511 (3 місце), Латвію – 0,7401 (4 місце) та США – 0,6831 (5 місце), а до групи країн з низьким рівнем даної компоненти: Нідерланди – 0,1957 (36 місце), Данію – 0,2328 (35 місце), Грецію – 0,2616 (34 місце), Бразилію – 0,4051 (33 місце) та Португалію – 0,4204 (32 місце). Україна у 2024 р., зі значенням компоненти «Ефективність первинної переробки деревини» інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості 0,4322, посіла 29 місце серед 36 досліджуваних країн світу.

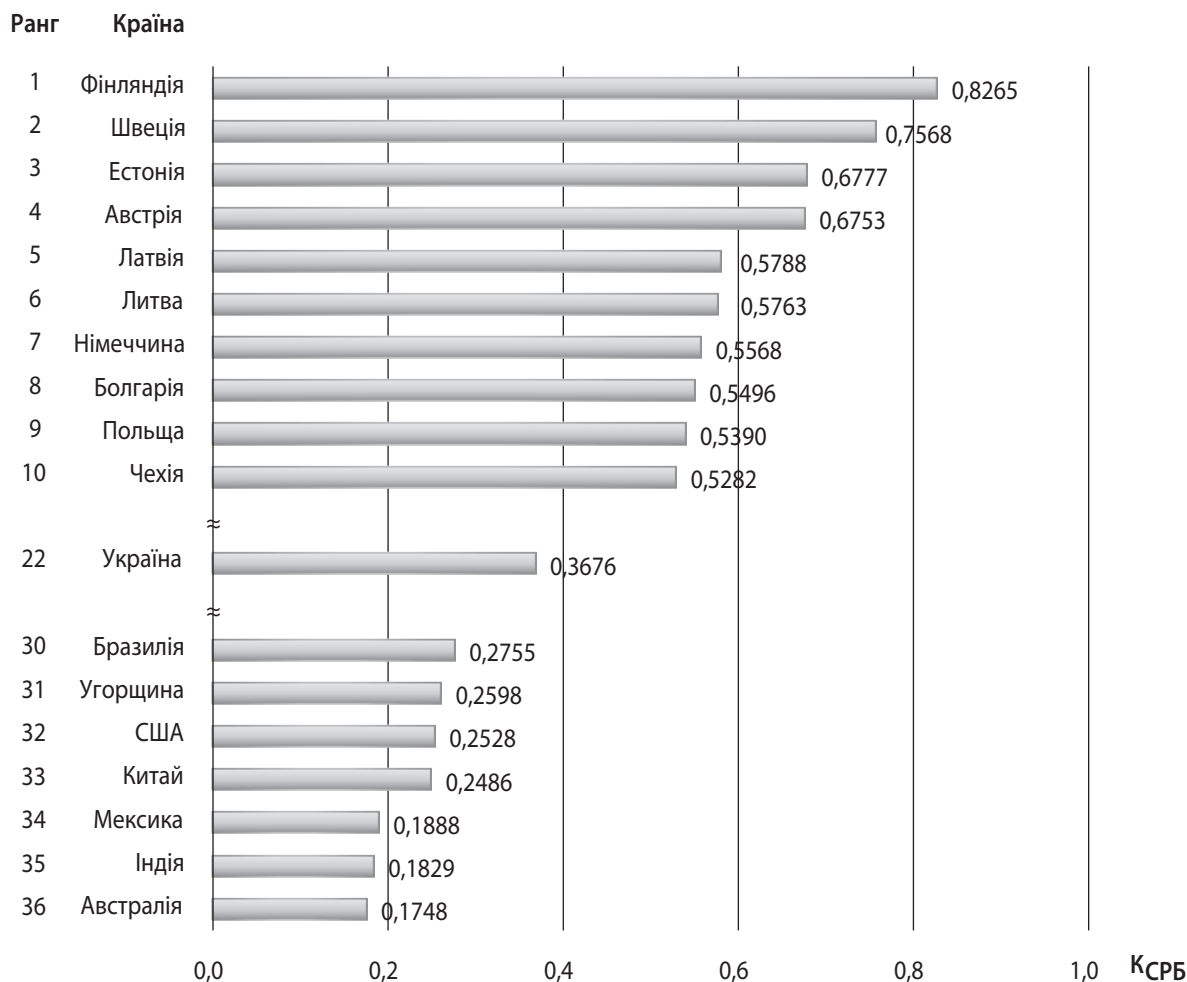


Рис. 3. Діаграма розподілу України та країн світу за значенням компоненти «Сталість ресурсної бази» інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості у 2024 р.

Джерело: розраховано автором.

Розподіл України та країн світу за значенням компоненти «Використання вторинної та рекуперованої сировини» інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості України та країн світу наведено на *рис. 5*.

З *рис. 5* видно, що до групи країн з високим рівнем компоненти «Використання вторинної та рекуперованої сировини» було віднесено: Нідерланди – 0,8222 (1 місце), Велику Британію – 0,6934 (2 місце), Італію – 0,6680 (3 місце), Корею – 0,6417 (4 місце) та Данію – 0,6084 (5 місце), а до групи країн з низьким рівнем даної компоненти: Індію – 0,0563 (36 місце), Канаду – 0,0867 (35 місце), Фінляндію – 0,1195 (34 місце), росію – 0,1464 (33 місце) та Угорщину – 0,1510 (32 місце). Україна у 2024 р., зі значенням компоненти «Використання вторинної та рекуперованої сировини» інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості 0,1726, посіла 28 місце серед 36 досліджуваних країн світу.

Розподіл України та країн світу за значенням компоненти «Енергетичне використання біомаси» інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості України та країн світу наведено на *рис. 6*.

З *рис. 6* видно, що до групи країн з високим рівнем компоненти «Енергетичне використання біомаси» було віднесено: Корею – 1,0 (1 місце), Канаду – 0,9653 (2 місце), Словаччину – 0,6760 (3 місце), Бельгію – 0,6733 (4 місце) та Латвію – 0,5765 (5 місце), а до групи країн з низьким рівнем даної компоненти: Мексику – 0,0 (36 місце), Туреччину – 0,0113 (35 місце), Японію – 0,0175 (34 місце), Індію – 0,0443 (33 місце) та Угорщину – 0,0492 (32 місце). Україна у 2024 р., зі значенням компоненти «Енергетичне використання біомаси» інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості 0,2826, посіла 16 місце серед 36 досліджуваних країн світу.

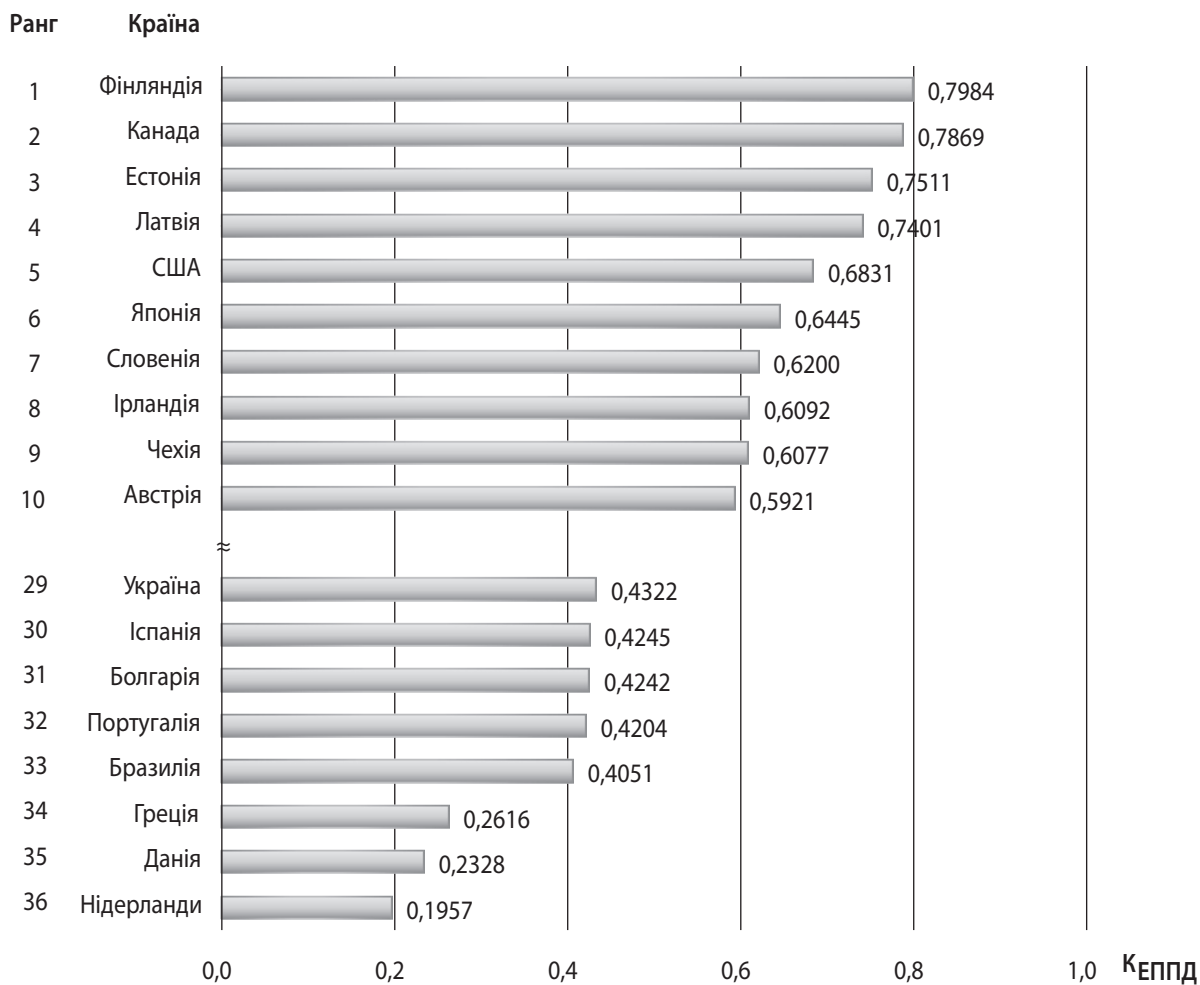


Рис. 4. Діаграма розподілу України та країн світу за значенням компоненти «Ефективність первинної переробки деревини» інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості у 2024 р.

Джерело: розраховано автором.

З використанням кластерного аналізу (к-середніх) [24] було здійснено класифікацію країн світу за значенням компонент інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості.

З результатами проведеної кластеризації по компонентах інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості країни світу розділено на два кластери. На групування країн у виділені кластери найбільший вплив чинили компоненти «Сталість ресурсної бази» та «Енергетичне використання біомаси», дещо менший вплив мала компонента «Ефективність первинної переробки деревини», а найменший вплив чинила компонента «Використання вторинної та рекуперованої сировини». Розподіл країн світу за кластерами представлено в *табл. 1*.

З *табл. 1* видно, що до першого кластера було віднесено 15 країн світу (41,7% від загальної кіль-

кості досліджуваних країн світу). Країни цього кластера мають високі значення за всіма компонентами, що дозволяє класифікувати їх як групу з високим рівнем каскадності деревообробної промисловості.

До другого кластера увійшла 21 країна світу (58,3% від загальної кількості). Країни цього кластера мають низькі значення за всіма компонентами, що дозволяє класифікувати їх як групу з низьким рівнем каскадності деревообробної промисловості. Україну віднесено до країн другого кластера з низьким рівнем каскадності деревообробної промисловості.

ВИСНОВКИ

Таким чином, проведене дослідження показало, що каскадне використання деревини є ключовим механізмом реалізації принципів циркулярної економіки в лісовому секторі. Концептуальна основа цього підходу полягає у пріоритетності матері-

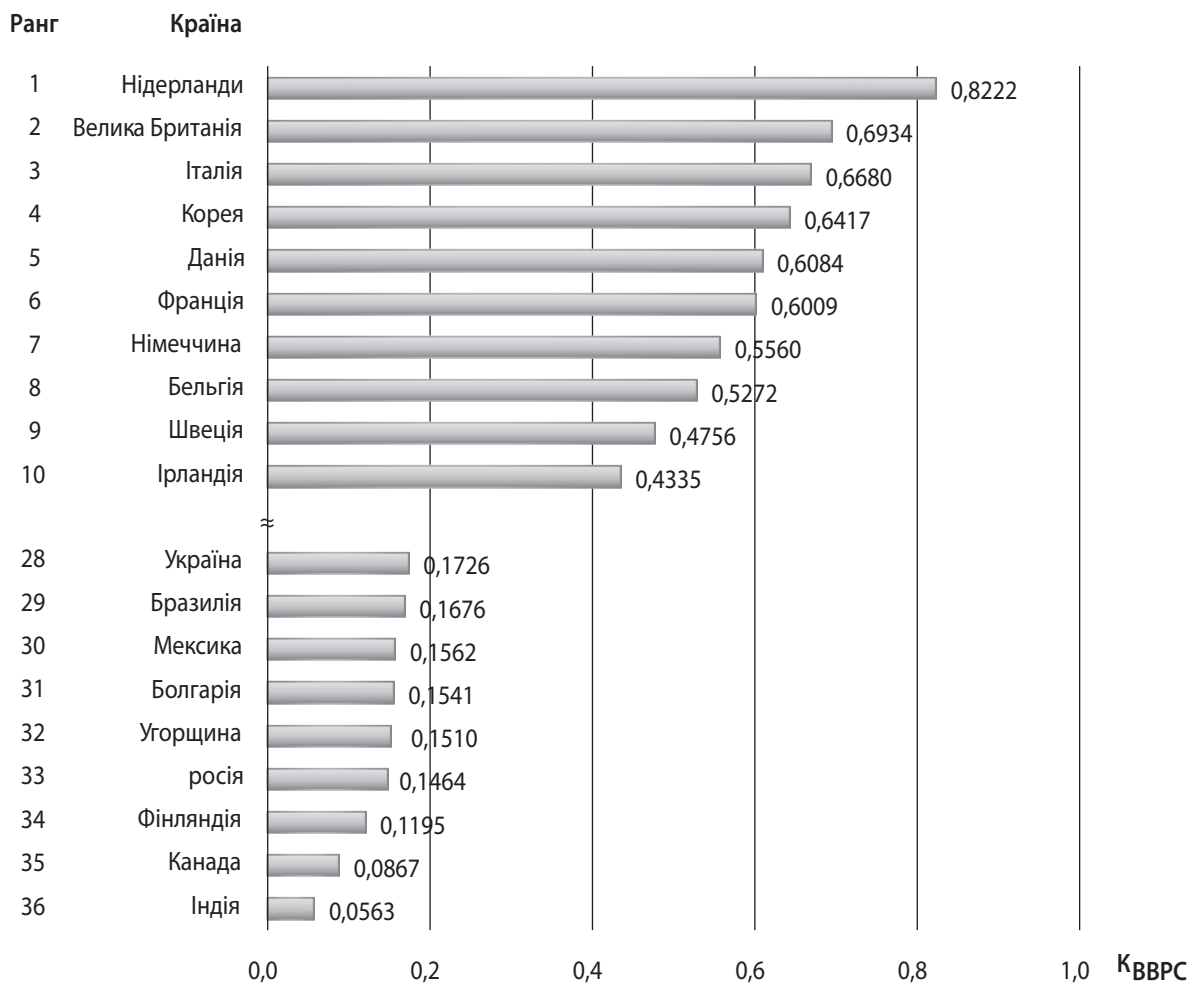


Рис. 5. Діаграма розподілу України та країн світу за значенням компоненти «Використання вторинної та рекуперованої сировини» інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості у 2024 р.

Джерело: розраховано автором.

ального використання біомаси через послідовні цикли переробки: від виготовлення продукції з високою доданою вартістю до рециклінгу вторинної сировини, з кінцевим етапом енергетичної утилізації лише після повного вичерпання матеріального потенціалу. Концептуальна основа цього підходу полягає у пріоритетності матеріального використання біомаси шляхом її переробки у хронологічно послідовні етапи: від виготовлення продукції з високою доданою вартістю до рециклінгу вторинної сировини, із завершальним відновленням енергії лише після вичерпання матеріального потенціалу. Такий підхід забезпечує підвищення ресурсної ефективності деревообробної промисловості, дозволяє максимально довго зберігати структурну цілісність деревини, депонувати вуглець і мінімізувати тиск на лісові ресурси.

Аналіз науково-методичних підходів до оцінювання каскадного використання деревини показав, що більшість цих методів орієнтовані на га-

лузеві або національні дослідження та потребують значних обсягів статистичних і технологічних даних, що ускладнює їх застосування для міжнародних порівнянь. З метою забезпечення зіставності результатів у роботі запропоновано інтегральний показник оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості, розрахований на основі порівняльних статистичних показників світових організацій. Його розрахунок ґрунтується на системі із дванадцяти часткових індикаторів, які відображають стан ресурсної бази, ефективність первинної переробки деревини, рівень використання вторинних ресурсів та кінцеве енергетичне використання біомаси. Така система дозволила комплексно оцінити рівень каскадного використання деревини серед 36 країн світу, здійснивши їх ранжування та кластеризацію.

Результати розрахунків інтегрального показника показали суттєву диференціацію країн світу за рівнем каскадного використання деревини. Україна зі значенням інтегрального показника 0,2870 по-

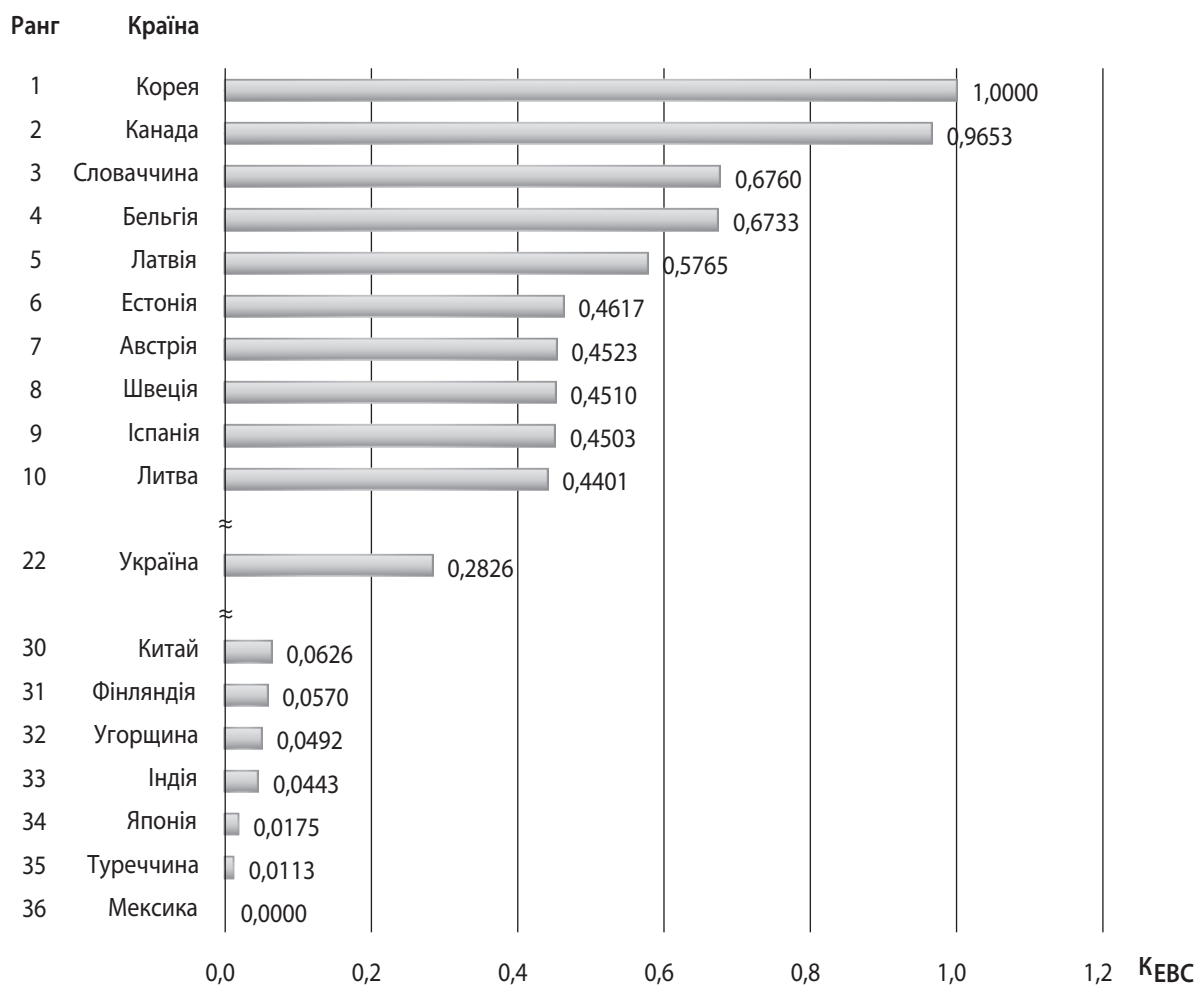


Рис. 6. Діаграма розподілу України та країн світу за значенням компоненти «Енергетичне використання біомаси» інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості у 2024 р.

Джерело: розраховано автором.

сіла 24 місце серед 36 досліджуваних країн та увійшла до групи країн із низьким рівнем каскадності деревообробної промисловості. Найкращі позиції Україна мала за компонентами «Сталість ресурсної бази» (22 місце) та «Енергетичне використання біомаси» (16 місце), а низькі позиції – «Ефективність первинної переробки» (29 місце) та «Використання вторинної та рекуперованої сировини» (28 місце).

Отже, для підвищення рівня каскадності деревообробної промисловості Україні необхідно стимулювати внутрішню глибоку переробку деревини, розширювати використання вторинних ресурсів, створювати умови для широкого залучення відходів у процеси переробки та формувати повноцінні каскадні ланцюги створення вартості. ■

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Circularity concepts in forest-based industries. UNECE. URL: <https://unece.org/sites/default/>

files/2022-05/Circularity%20concepts%20in%20forest-based%20industries%20ECE_TIM_SP_49.pdf

2. Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N. M. P., Hultink E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 143. P. 757–768. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

3. Korhonen J., Honkasalo A., Seppälä J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*. 2018. Vol. 143. P. 37–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>

4. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017. Vol. 127. P. 221–232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

5. Bocken N. M. P., de Pauw I., Bakker C., van der Grinten B. Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*. 2016. Vol. 33. Iss. 5. P. 308–320. DOI: <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>

Таблиця 1

Розподіл України та країн світу за кластерами залежно від значень компонент інтегрального показника оцінки рівня каскадності деревообробної промисловості у 2024 р.

1-й кластер	2-й кластер
Австрія	Австралія
Бельгія	Болгарія
Естонія	Бразилія
Ірландія	Велика Британія
Канада	Греція
Корея	Данія
Латвія	Індія
Литва	Іспанія
Німеччина	Італія
Польща	Китай
Словаччина	Мексика
Словенія	Нідерланди
Фінляндія	Португалія
Чехія	росія
Швеція	Румунія
	США
	Туреччина
	Угорщина
	Україна
	Франція
	Японія

Джерело: розраховано автором.

6. Салашенко Т. І., Самойленко В. С. Нормативно-правове забезпечення розбудови циркулярного підходу в Україні. *Бізнес Інформ*. 2024. № 10. С. 159–174.
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-10-159-174>
7. Шкуренко О. В. Циркулярна економіка як передумова формування інноваційних платформ сталого розвитку суб'єктів підприємницької діяльності. *Бізнес Інформ*. 2021. № 4. С. 323–330.
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-4-323-330>
8. Швець А. І. Циркулярна економіка як нова модель розвитку економіки України в процесі євроінтеграції. *Економічний вісник*. 2022. № 1. С. 43–49.
DOI: <https://doi.org/10.33271/ebdut/77.043>
9. Кизим М. О., Шпілевський В. В., Трушкіна Н. В., Шпілевський О. В. Теоретичні засади циркулярного підходу до організації діяльності в секторах економіки. *Агросвіт*. 2026. № 2. С. 62–74.
DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2026.2.62>
10. Губарева І., Трушкіна Н. Інфраструктурне забезпечення управління зовнішньоекономічною ді-

яльністю підприємств деревообробної промисловості України. *Фінансово-кредитні системи: перспективи розвитку*. 2024. № 1. С. 37–51.
DOI: <https://doi.org/10.26565/2786-4995-2024-1-04>

11. Хаустова В. Є., Трушкіна Н. В. Інфраструктурне забезпечення регіонального управління відходами у контексті циркулярної економіки (на прикладі Харківської області). *Проблеми економіки*. 2022. № 4. С. 118–132.
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2022-4-118-132>
12. Sirkin T., ten Houten M. The cascade chain: A theory and tool for achieving resource sustainability with applications for product design. *Resources, Conservation and Recycling*. 1994. Vol. 10. Iss. 3. P. 213–276.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0921-3449\(94\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0921-3449(94)90016-7)
13. Mapping Study on Cascading Use of Wood Products. 2016. URL: https://awsassets.panda.org/downloads/cascading_use_of_wood_web.pdf
14. The State of the World's Forests 2022. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies. Rome : FAO, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.4060/cb9360en>
15. Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023L2413>
16. Activities of the Advisory Committee on Sustainable Forest-based Industries. URL: https://www.fao.org/forestry/statutory-bodies/advisory-committee-on-sustainable-forest-based-industries/acsfi-activities/en?utm_source=chatgpt.com
17. Vis M., Mantau U., Allen B. (Eds.). Study on the optimised cascading use of wood. No. 394/PP/ENT/RCH/14/7689. Final report. Brussels, 2016. 337 p.
18. Bais-Moleman A., Sikkema R., Vis M. et al. Assessing wood use efficiency and greenhouse gas emissions of wood product cascading in the European Union. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 172. P. 3942–3954.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.153>
19. Parobek J., Paluš H., Moravčík M. et al. Utilisation and Quantification of Wood By-Products from Primary Wood Processing. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*. 2024. Vol. 66. Iss. 2. P. 125–136.
DOI: <https://doi.org/10.17423/afx.2024.66.2.1>
20. Mantau U. Wood flow analysis: Quantification of resource potentials, cascades and carbon effects. *Biomass and Bioenergy*. 2015. Vol. 79. P. 28–38.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.08.013>
21. Mena-Reyes J., Vergara F., Linfati R., Escobar J. Quantitative Techniques for Sustainable Decision Making in Forest-to-Lumber Supply Chain: A Systematic Review. *Forests*. 2024. Vol. 15. Iss. 2.
DOI: <https://doi.org/10.3390/f15020297>
22. FAOSTAT: Forestry Production and Trade. 2025 update. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. URL: <https://www.fao.org/statistics/events/events-detail/forestry-production-and-trade.-2025-update/en>

23. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Global Forest Resources Assessment*. 2025. URL: <https://fra-data.fao.org/assessments/fra/2025>
24. TIBCO Statistica User's Guide. URL: <https://docs.tibco.com/pub/stat/14.0.0/doc/html/UsersGuide/GUID-00789290-B1F0-43C1-832C-217A4EB30739.html>

REFERENCES

- Bais-Moleman A., Sikkema R. & Vis M. (2018). Assessing wood use efficiency and greenhouse gas emissions of wood product cascading in the European Union. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3942–3954. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.153>
- Bocken N. M. P., de Pauw I., Bakker C. & van der Grinten B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 5(33), 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council (2023). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023L2413>
- FAO. *Activities of the Advisory Committee on Sustainable Forest-based Industries*. https://www.fao.org/forestry/statutory-bodies/advisory-committee-on-sustainable-forest-based-industries/acsf-activities/en?utm_source=chatgpt.com
- FAO (2022). *The State of the World's Forests 2022. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies*. Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9360en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *FAOSTAT: Forestry Production and Trade*. 2025 update. <https://www.fao.org/statistics/events/events-detail/forestry-production-and-trade.-2025-update/en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *Global Forest Resources Assessment*. <https://fra-data.fao.org/assessments/fra/2025>
- Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N. M. P. & Hultink E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Hubarieva I. & Trushkina N. (2024). Infrastrukturne zabezpechennia upravlinnia zovnishnoekonomichnoiu diialnistiu pidpriemstv derevoobrobnoi promyslovosti Ukrainy [Infrastructural Support for Managing the Foreign Economic Activity of Woodworking Enterprises in Ukraine]. *Finansovo-kredytni systemy: perspektyvy rozvytku*, 1, 37–51. <https://doi.org/10.26565/2786-4995-2024-1-04>
- Khaustova V. Ye. & Trushkina N. V. (2022). Infrastrukturne zabezpechennia rehionalnogo upravlinnia vidk-hodamy u konteksti tsyrkuliarnoi ekonomiky (na prykladi Kharkivskoi oblasti) [Infrastructural Support for Regional Waste Management in the Context of Circular Economy (on the example of Kharkiv region)]. *Problemy ekonomiky*, 4, 118–132. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2022-4-118-132>
- Kirchherr J., Reike D. & Hekkert M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Korhonen J., Honkasalo A. & Seppälä J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Kyzym M. O., Shpilievskiy V. V., Trushkina N. V. & Shpilievskiy O. V. (2026). Teoretychni zasady tsyrkuliarnoho pidk-hodu do orhanizatsii diialnosti v sektorakh ekonomiky [Theoretical Foundations of the Circular Approach to Organizing Activities in Economic Sectors]. *Ahrosvit*, 2, 62–74. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2026.2.62>
- Mantau U. (2015). Wood flow analysis: Quantification of resource potentials, cascades and carbon effects. *Biomass and Bioenergy*, 79, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.08.013>
- Mapping Study on Cascading Use of Wood Products (2016). https://awsassets.panda.org/downloads/cascading_use_of_wood_web.pdf
- Mena-Reyes J., Vergara F., Linfati R. & Escobar J. (2024). Quantitative Techniques for Sustainable Decision Making in Forest-to-Lumber Supply Chain: A Systematic Review. *Forests*, 2(15). <https://doi.org/10.3390/f15020297>
- Parobek J., Paluš H. & Moravčík M. (2024). Utilisation and Quantification of Wood By-Products from Primary Wood Processing. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2(66), 125–136. <https://doi.org/10.17423/afx.2024.66.2.1>
- Salashenko T. I. & Samoilenko V. S. (2024). Normatyvno-pravove zabezpechennia rozbudovy tsyrkuliarnoho pidk-hodu v Ukraini [Regulatory and Legal Support for the Development of the Circular Approach in Ukraine]. *Biznes Inform*, 10, 159–174. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-10-159-174>
- Shkurenko O. V. (2021). Tsyrukuliarna ekonomika yak peredumova formuvannia innovatsiinykh platform staloho rozvytku subiektiv pidpriemnytskoi diialnosti [Circular Economy as a Prerequisite for the Formation of Innovative Platforms for Sustainable Development of Business Entities]. *Biznes Inform*, 4, 323–330. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-4-323-330>
- Shvets A. I. (2022). Tsyrukuliarna ekonomika yak nova model rozvytku ekonomiky Ukrainy v protsesi yevro-intehratsii [Circular Economy as a New Model for the Development of Ukraine's Economy in the Process of European Integration]. *Ekonomichnyi visnyk*, 1, 43–49. <https://doi.org/10.33271/ebdut/77.043>
- Sirkin T. & ten Houten M. (1994). The cascade chain: A theory and tool for achieving resource sustainability with applications for product design. *Resources, Conservation and Recycling*, 3(10), 213–276. [https://doi.org/10.1016/0921-3449\(94\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0921-3449(94)90016-7)

TIBCO. *TIBCO Statistica User's Guide*. <https://docs.tibco.com/pub/stat/14.0.0/doc/html/UsersGuide/GUID-00789290-B1F0-43C1-832C-217A4EB30739.html>

UNECE. (2022). *Circularity concepts in forest-based industries*. https://unece.org/sites/default/files/2022-05/Circularity%20concepts%20in%20forest-based%20industries%20ECE_TIM_SP_49.pdf

Vis M., Mantau U. & Allen B. (2016). *Study on the optimised cascading use of wood*. No. 394/PP/ENT/RCH/14/7689. Final report. Brussels.

Науковий керівник – Крячко Є. М., кандидат економічних наук, старший науковий співробітник НДЦ ІПР НАНУ (м. Харків)
Стаття надійшла до редакції / Received: 09.01.2026
Статтю прийнято до публікації / Accepted: 23.01.2026
Оприлюднено / Published: 31.03.2026

УДК 620.9:620.97:338.27:001.895
JEL: L94; O13; P18; Q47
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2026-2-178-186>

ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНА ЕНЕРГЕТИКА ЯК ВІДКРИТА ЕКОСИСТЕМА: НОВІ ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ

©2026 ГОРАЛЬ Л. Т., ОНИЩЕНКО В. О., ХОМ'ЯК О. В., ШКВАРИЛЮК М. В.

УДК 620.9:620.97:338.27:001.895
JEL: L94; O13; P18; Q47

Гораль Л. Т., Онищенко В. О., Хом'як О. В., Шкварилюк М. В. Децентралізована енергетика як відкрита екосистема: нові підходи до формування концепції енергетичної безпеки

Дане дослідження стало продовженням наших напрацювань щодо енергетичної безпеки. У ньому ми намагалися узагальнити ті тенденції, які намітилися в галузі енергетики. Переконані, що дослідження енергетичної безпеки, її економічного змісту та впливу на економіку й суспільство необхідно пов'язувати з національною та економічною безпекою як результируючою функцією даного впливу. У статті здійснено огляд останніх напрацювань українських і зарубіжних учених, присвячених економічній безпеці, розвитку даної дефініції, її місця в системі безпеки, стратегічного планування та конкурентоспроможності економіки. Проведено аналіз моделей регулювання сфери економічної безпеки ЄС, США, Японії та Китаю – як ключових центрів світової економіки та політики. Порівняння підходів у законодавстві України та інших країн щодо економічної безпеки дозволило виявити резерви до змін у нормативно-правовому полі України. У розвитку дослідження наведено основну характеристику нормативно-правової бази з питань енергетичної безпеки України. Доведено, що енергетична безпека в ЄС, США, Японії та Китаї регулюється комплексом нормативно-законодавчих актів, які визначають стратегії розвитку, захист критичної інфраструктури та перехід до «зеленої» енергетики. Проведено порівняння нормативно-правової бази з питань енергетичної безпеки в Україні та названих державах і підкреслено, що українське законодавство у сфері енергетичної безпеки поступово гармонізується з європейським, але ще потребує посилення інструментів захисту критичної інфраструктури та розвитку технологічної бази. Наведено концептуальну модель енергетичної безпеки, що формує новітній погляд на систему заходів, основним посилом якої є децентралізація джерел енергії, мінімізація об'єктів генерації та максимізація використання локальних ресурсів. Запропонована модель формує чотирирівневу систему енергетичної безпеки макро-, мезо-, міні- та нанорівня, яка синтезується в цілісну парадигму децентралізованої енергетики. Наведено ключові характеристики кожного з рівнів. Вперше запропоновано в системі енергетичної безпеки виділяти нанорівень – як рівень особистості (індивідуума) та домогосподарства. Також звернено увагу на локальні енергетичні системи, які формують мінірівень енергетичної безпеки на муніципальному та громадському просторах. Загалом, дана концептуальна модель енергетичної безпеки дозволить формувати багаторівневу систему стійкості, де кожен рівень підсилює інший – від державної політики до індивідуальних рішень.

Ключові слова: енергетична система, енергетична безпека, економічна безпека, екосистема, децентралізація, концептуальна модель, порівняння.

Рис.: 1. **Табл.:** 3. **Бібл.:** 18.

Гораль Ліліана Тарасівна – доктор економічних наук, професор, професор кафедри фінансів Карпатського національного університету імені Василя Стефаника (вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76018, Україна)

E-mail: liliana.horal@cnu.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6066-5619>

Онищенко Володимир Олександрович – доктор економічних наук, професор, перший проректор Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (просп. Віталія Грицаєнка, 24, Полтава, 36011, Україна)

E-mail: onyshchenko.vo@nupr.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3486-1223>

Хом'як Олег Володимирович – аспірант Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (просп. Віталія Грицаєнка, 24, Полтава, 36011, Україна)

E-mail: oleg.ivf.ua@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2875-871X>

Шкварилюк Марта Володимирівна – доктор філософії з менеджменту, старший викладач кафедри бізнесу та управління, ЗВО «Університет Короля Данила» (вул. Є. Коновальця, 35, Івано-Франківськ, 76018, Україна)

E-mail: marta.shkvaryliuk@ukd.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3352-8907>